SÉRIE
DE LA GESTION
DE L'ÉNERGIE

2

A L'INTENTION
DES INDUSTRIES,
COMMERCES
ET INSTITUTIONS

Éclairage

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada
Canada

PRÉFACE

L'art et la science de la gestion de l'énergie ont accompli des progrès remarquables au cours de la dernière décennie. La gestion de l'énergie est devenue une discipline sérieuse dans le cadre du processus de gestion de la plupart des entreprises qui connaissent le succès.

D'abord, au début des années 70, on a mis sur pied des programmes d'économie d'énergie afin de réduire la menace de pénurie d'énergie que pesait sur le Canada, de même que la dépendance du pays à l'endroit du pétrole étranger. Toutefois, la hausse vertigineuse des prix n'a pas tardé à donner une signification nouvelle à l'expression «économie d'énergie»: réduire le coût de l'énergie.

Nombre d'industries, de commerces et d'organismes publics ont relevé le défi et abaissé les coûts d'énergie jusque dans une proportion de 50%. On est ainsi arrivé à utiliser l'énergie de façon rationnelle, grâce à des mesures telles que des programmes d'information à l'intention du personnel, des moyens d'entretien plus à point, la simple élimination du gaspillage, et en mettant de l'avant des projets aptes à moderniser ou améliorer les installations et l'équipement.

Pour en arriver maintenant à économiser d'avantage l'énergie, il importe de mieux connaître la technologie et ses applications en plus d'avoir recours à des appareils à haut rendement énergétique.

À la demande du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne, du Programme des groupes de travail sur la gestion de l'énergie dans les secteurs commercial et institutionnel, et d'associations professionnelles et commerciales intéressées, la Division de l'énergie industrielle du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources a élaboré une série de modules techniques portant sur la gestion de l'énergie.

Ces manuels aideront les gestionnaires et le personnel d'exploitation à découvrir les possibilités de gestion de l'énergie dans leur cadre de travail. On y trouve une quantité de renseignements pratiques, notamment des équations mathématiques, des renseignements généraux sur des techniques éprouvées, ainsi que des exemples concrets d'économie d'énergie.

Pour obtenir de plus amples renseignements concernant les modules figurant dans la liste qui suit ou la documentation utilisée dans le cadre des ateliers, y compris les études de cas, veuillez écrire à l'adresse suivante:

La Division de la gestion de l'énergie dans les
entreprises et dans le secteur gouvernemental
Direction des économies d'énergie
Énergie, Mines et Ressources Canada
580, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0E4

Gestion de l'énergie et participation des employés
Évaluation de la consommation
Analyse financière énergétique
Comptabilité de la gestion énergétique
Récupération de la chaleur perdue
1 Isolation thermique des équipements
2 Éclairage
3 Électricité
4 Moteurs électriques économiseurs d'énergie
5 Combustion
6 Appareillage de chaufferie
7 Fours, sécheurs et fours de cuisson
8 Réseaux de vapeur et de condensat
9 Chauffage et refroidissement (vapeur et eau)
10 Chauffage, ventilation et conditionnement d'air
11 Refroidissement et pompes à chaleur
12 Réseaux de distribution d'eau et d'air comprimé
13 Ventilateurs et pompes
14 Compresseurs et turbines
15 Mesures et contrôle
16 Régulation automatique
17 Manutention des matériaux et transport sur place
18 Point de vue architectural
19 Accumulation thermique
20 Guide de planification et de gestion

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989

En vente au Canada par l'entremise des

Librairies associées
et autres libraires

ou par la poste auprès du

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue M91-6/2F ISBN 0-662-93324-9

Prix sujet à changement sans préavis

Tous droits réservés. On ne peut reproduire aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photographique) ni en faire un enregistrement sur support magnétique ou autre pour fins de dépistage ou après diffusion, sans autorisation écrite préalable des Services d'édition, Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa, Canada K1A 0S9.

TABLES DES MATIERES

	Page
INTRODUCTION	
But	1
Contenu	1
NOTIONS DE BASE	
Quantités et unités d'éclairage	3
Candela	3
Lumen	3
Lux	3
dalx	3
Effet de l'éclairage sur la productivité	3
Illumination et flux lumineux	4
Réflectance et transmittance	4
Détermination de la réflectance d'une surface	4
Réflectance et couleurs	5
Réflectance minimales recommandées	5
Transmittance	5
Réflecteurs et lentilles	6
Mesure de rendement lumineux d'une ampoule incandescente	6
Courbe de répartition d'intensité d'une source lumineuse	7
Efficacité lumineuse d'une source d'éclairage	7
Qualité de l'éclairage	8
Possibilité de confort visuel	8
Éblouissement indirect	9
Indice de rendement des couleurs (IRC)	9
Besoins d'énergie des systèmes d'éclairage	9
Maximum admissible d'énergie d'éclairement de chaque pièce	11
Détails du calcul de la DEU	11
Application du budget de la DEU recommandé	11
Les trois qualités d'un bon circuit d'éclairage	11
Exigences d'éclairement de la pièce	11
Determination des niveaux recommandés d'éclairement	12
Calcul du nombre d'appareils d'éclairage nécessaires	12

Illumination verticale 12
Éclairage de la tâche sans appareils suspendus 14

Identification des occasions de gestions de l'énergie 14
Bilan d'inspection sur place 14

ÉQUIPEMENT 15

Photomètres portatifs 15

Lampes 15
Efficacité lumineuse 16
Pourcentage de dépréciation du flux lumineux 16
Couleur apparente des lampes 16
Lampes à incandescence 16
Lampes à halogène 16
Lampe-réflecteur 17
Substitution d'autres types de lampes dans les appareils d'éclairage à incandescence 17
Lampes fluorescentes 17
Types de lampes fluorescentes 18
Utilisation des lampes fluorescentes 18
Considérations sur la température de fonctionnement 18
Lampes fluorescentes à économie d'énergie 18
Petites lampes fluorescentes à tubes jumelés 18
Durée des lampes fluorescentes 19
Pourcentage de dépréciation du flux lumineux des lampes fluorescentes 19
Remplacement des lampes fluorescentes et des ballasts 20
Lampes de vapeur de sodium à basse pression 20
Lampes à décharge de haute intensité (DHI) 20
Lampes à vapeur de mercure (VM) 21
Lampes à halogénures 21
Lampes à vapeur de sodium à haute pression 22
Ballasts 22
Fonctions des ballasts 22
Ballasts à grande efficacité énergétique 23
Appareils d'éclairage 24
Appareils d'éclairage à lentilles et/ou volets 24
Appareils d'éclairage à aération dynamique 24

Systèmes de câblage modulaires d'éclairage 24
Contrôles de l'éclairage 25
Contrôleurs de tableau de distribution 25
Interrupteurs ordinaires au mur 25
Interrupteurs à clef 25
Contrôle d'illumination à niveaux multiples 25

Contôleurs d'éclairage commandés par signalisation téléphonique 26
Système d'allumage à basse tension 26
Gradateurs de lumière à état solide 26
Système d'allumage par ballast chargé 26
Allumage fort-faible 26
Interrupteurs à minuterie 26
Cellules photoélectriques 26
Capteurs d'occupation 26

Système de contrôle automatique de l'énergie 27

Éclairage de secours d'appoint 27
Éclairage fluorescent 27
Décharge à haute intensité (DHI) 27
Équipement d'éclairage extérieur 27
Éclairage de sûreté 28

OCCASIONS FAVORABLES D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 29

Occasions favorables dans le milieu 29

Exemples calculés d'économies dans le milieu 29
Établissement de dossiers 29
Diminution des niveaux d'éclairage 31
Modification des modes d'utilisation 32
Affinement du programme d'entretien de l'éclairage 34

Calcul du nombre de luminaires nécessaires dans une pièce 35

Occasions favorables à bon compte 39
Exemples de calcul d'occasions favorables à bon compte 39

Occasions favorables de modification après coup 43
Exemple de calculs d'occasions favorables d'amelioration après coup 43

ANNEXES

A Glossaire
B Tableaux
C Tableaux de conversion
D Feuilles de travail

INTRODUCTION

Le présent module sur l' éclairage fail partie d' une série sur la gestion de l' énergie publiée par Energie, Mines et Ressources Canada. Elle se veut d' aider les industries, le commerce et les institutions du Canada à s' adapter aux coûts élevés de l 'énergie. L'éclairage joue un rôle important dans la stratégie générale de gestion de l' énergie d' un organisme. Dans les grands édifices de bureaux, prés de 60 pour cent de la consommation d' électricité provient du systéme d'éclairage. L 'expérience a démontré qu' il est possible de réduire les coûts d'éclairage de 50 pour cent et plus. Les propositions et suggestions trouvées dans ce module pourront aider à améliorer la qualité et la fiabilité de l'éclairage. Le domaine de l'éclairage connaît présentement une phase active de développement suite au potentiel qu' on y a découvert dans le nouvel environnement de l' énergie.

Comme outil de production dans l'industrie, l'éclairage s'avère tout aussi important que la machinerie la plus avancée et la plus coûteuse, surtout là où l' on fait appel aux ressources humaines.

La hausse des coûts d'énergie a entraîné la revue des niveaux élevés d'éclairage général avec une attention particulière à l'éclairage de travail. Cela signifie que l' on concentre la quantité et la qualité de la lumière là où elle est nécessaire. Cette perspective, alliée à de nouveaux dispositifs d' éclairage d'efficacité énergétique, crée une possibilité réelle non seulement de réduction des coûts mais aussi d' améliorantion de l' éclairage déjà en place.

But

Suit un condensé des buts de ce module.

• Revoir les notions fondamentales de l'éclairage et fournir les outils de base pour la prise de décisions judicieuses en gestion d' énergie.

• Examiner les dispositifs d' éclairage présentement offerts pour réduire les coûts d' éclairage.

• Rendre les propriétaires et les exploitants d'édifices conscients des économies possible d' énergie et de coûts par l'établissement d'occcasions favorable de gestion de l'énergie.

• Offrir des méthodes de calcul des économies possibles d'énergie et de coûts à l'aide d'exemples.

• Offrir un jeu de feuilles de travail pouvant servir aux calculs sur les systèmes déjà en place et/ou proposés afin d'établir les possibilités d'économie d'énergie et de coûts.

Contenu

Le contenu du module a été divisé en quatre sections.

• Les *Notions fondamentales* de l'éclairage, accompagneés d' exemples quand il le faut, donnent une compréhension de base des concepts nécessaires à la solution des équations et des calculs.

• *L'Equipement* traite des accessoires d'éclairage et des matériaux utilisés par les industries, le commerce et les institutions.

• Les *Occasions favorables de gestion de l'énergie* sont décrites en termes d' énergie, d'économie sur les coûts et de calculs simples de rendement.

• Enfin, les *Annexes* offrent un glossaire des termes courants dans le domaine de l'éclairage et un jeu de feuilles de travail vierges.

NOTIONS DE BASE

Bien que le but principal du présent module sur l'éclairage soit de présenter des techniques d'éclairage pratiques et d'application facile, il existe quelques notions fondamentales d'éclairage qu'on ne saurait ignorer. Il est indispensable de les comprendre pour être en mesure d'appliquer certaines techniques simples d'économie d'énergie. Le but de la présente section est donc de donner au lecteur une vue d'ensemble des possibilités d'épargne d'énergie d'éclairage par l'application des techniques de gestion d'énergie.

Quantités et unités d'éclairage

Il est indispensable de comprendre certaines notions fondamentales sur l'éclairage et les rapports qui existent entre elles. On explique brièvement dans les pages qui suivent ces expressions particulières à l'éclairage.

Comme les unités d'éclairement sont liées aux propriétés du traitement visuel de l'oeil humain, elles sont tout à fait différentes des autres unités fondamentales de la physique.

Candela

La candela (cd) est l'unité fondamentale dont on tire toutes les autres unités d'éclairement. L'intensité lumineuse, c'est-à-dire l'intensité de la lumière dans une direction donnée se mesure en candelas. Une chandelle de cire ordinaire a une intensité lumineuse d'environ une candella, comme le nom l'indique.

Lumen

Pour mesurer l'intensité de lumière en candelas, il faut préciser et la lumière et sa direction. Quand on ignore l'aspect directionnel, le flux lumineux ou débit d'énergie lumineuse s'exprime en lumens (lm). L'analogie mécanique du lumen serait le débit d'électricité, le watt. Une manière importante de caractériser une lampe est de déterminer la quantité de lumière mesurée en lumens, produite pour chaque watt d'énergie qu'elle exige.

Lux

L'objet de tout système d'éclairage est de produire de l'éclairage ou de l'illumination. L'illumination est la quantité de flux lumineux par unité de surface. L'unité d'illumination est le lux (lx). Un lux est égal au quotient d'un lumen par mètre carré. Le tableau 1 montre l'éventail des illuminations recommandées pour diverses catégories de tâches. La hausse des coûts de l'énergie a suscité une révision descendante des niveaux minimums d'illumination nécessaires dans maintes catégories de tâches.

dalx

dalx est l'abréviation de décalux. Le préfixe déca signifie 10 fois; le lux est l'unité de mesure d'éclairement de la surface d'un poste de travail.

Effet de l'éclairage sur la productivité

Il est acquis que l'éclairage donne aux gens l'illumination dont ils ont besoin pour accomplir certains fonctions. Cependant, il est bien établi que la quantité et la qualité de l'illumination influent sur la qualité d'accomplissement de ces fonctions. De ce fait, il importe d'envisager les rapports entre l'éclairage et la productivité du travailleur. Le but ultime de l'éclairage à grand rendement est de conserver des niveaux convenables d'éclairage de bonne qualité afin de stimuler la productivité maximale du travailleur. Il s'agit de déterminer le point d'équilibre entre la conservation de l'énergie et la productivité du travailleur.

Exemple: On a observé une diminution sensible de la productivité des travailleurs quand les niveaux

d'illumination d'un édifice de bureaux du gouvernement passèrent de 100 à 50 décalux.

Le tableau 2 fait voir l'ampleur des pertes financières dans un cas semblable où la diminution de l'illumination passa de 1500 à 500 décalux. Dans ce tableau, les données tirées d'une étude contrôlée distincte montrent que l'abaissement du niveau d'illumination a eu pour résultat qu'un travailleur a mis 13,6 pour cent plus de temps à parfaire une tâche donnée. En dernière analyse, une épargne d'énergie de 22,90 $ par mètre carré par an a été réalisée aux dépens d'une diminution de la productivité des travailleurs évaluée à 401,50 $ par mètre carré par an. Il découle de cette étude que l'abaissement de l'éclairage de 150 à 50 décalux aboutit à une perte nette de 378,60 $ par mètre carré par an.

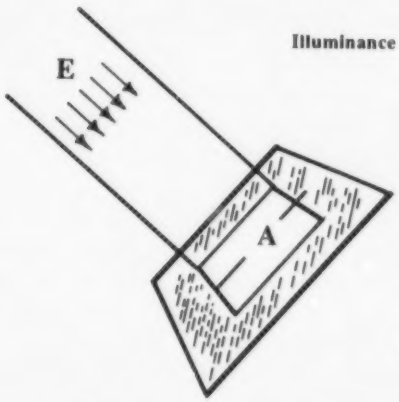
Illumination et flux lumineux

Le rapport entre l'illumination et le flux lumineux s'exprime comme suit, comme le montre l'ill. 1:

$$E = \frac{Ø}{A}$$

où:

E = l'illumination en lux
Ø = le flux lumineux en lumens
A = l'aire en mètres carrés



Illuminance E = Flux en lumens (Ø) / Aire (A)

Illumination et flux lumineux
Illustration 1

Exemple: Un photomètre indique 70 dalx d'illumination en tous les points d'une aire de 2 mètres carrés; le flux lumineux qui baigne cette aire serait de 1400 lumens.

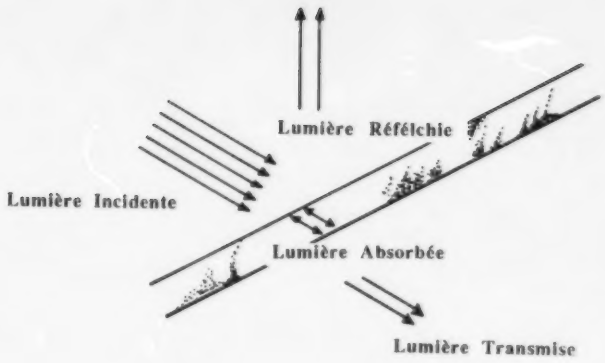
Réflectance et transmittance

Il se produit toujours des pertes d'énergie d'éclairage quand elle est réfléchie par un matériau ou lorsqu'elle le traverse. L'ill. 2 en donne une démonstration. On utilise un photomètre pour mesurer la lumière incidente et la lumière réfléchie ou transmise. De cette façon, il est possible de calculer les pertes d'énergie d'éclairage.

La quantité de lumière réfléchie par une surface se mesure en orientant la face d'un photomètre vers la surface et près d'elle. On l'en retire dès que la lecture est constante. Cette lecture constante donne la quantité par unité d'aire de lumière réfléchie par la surface (mesurée en lm/m^2). Éviter la formation d'ombres sur la surface pendant la mesure.

Détermination de la réflectance d'une surface

La réflectance est le rapport de la lumière réfléchie par une surface à la lumière qui la baigne. On la mesure en posant le photomètre sur la surface et en en orientant la face dans le sens opposé. L'appareil donne alors la mesure de l'illumination qui est la quantité de lumière baignant cette surface. On mesure ensuite la quantité de lumière



Lumière réfléchie et incidente

Illustration 2

réfléchie par la surface en orientant le photomètre vers la surface, comme on l'a dit précédemment. La réflectance (R) se calcule comme suit:

$$R = \frac{\text{lumière réfléchie}}{\text{lumière incidente}}$$

Exemple: Si le photomètre orienté vers un mur donne une lecture de 25 dalx et une lecture de 50 dalx quand il est orienté dans le sens opposé au mur, le mur a une réflectance de 0,50. La couleur donne un bon indice de la réflectance d'une surface.

Réflectance et couleurs

0,75 blanc et teintes très claires
0,50 bleu-vert moyen, jaune ou gris
0,30 gris foncé, bleu moyen
0,10 bleu foncé, brun, vert foncé et surface de bois

Un moyen simple et efficace d'obtenir de l'énergie d'éclairage efficace est de spécifier les surfaces d'une pièce à grande réflectance.

Réflectances minimales recommandées

Plafonds, de 70 à 90 pour cent
Murs, de 40 à 60 pour cent
Dessus de table de travail, de 25 à 50 pour cent
Planchers, de 20 à 50 pour cent

Transmittance

Quand la lumière traverse un matériau donné, il s'agit de transmittance. On évalue la transmittance d'un matériau en calculant le rapport de deux lectures de photomètre; on en prend une quand le photomètre est couvert d'une feuille du matériau à l'essai et l'autre, avec le photomètre non couvert de ce matériau. La transmittance (T) s'exprime comme suit:

$$T = \frac{\text{lumière transmise}}{\text{lumière incidente}}$$

Exemple: un photomètre dont la face est couverte d'une feuille de verre coloré donne une lecture de 20 dalx; il en donne une de 30 une fois qu'on en a retiré la feuille de verre. La transmittance de cette feuille de verre est donc de 0,66.

Réflecteurs et lentilles

Les réflecteurs et les lentilles sont des dispositifs dont la conception spéciale met à profit les propriétés spécifiques de réflectance et de transmittance pour contrôler et diriger la lumière émanant d'une source lumineuse. En somme, la lumière se heurte à la surface d'un réflecteur et elle traverse une lentille.

Les appareils d'éclairage contiennent souvent des réflecteurs, des lentilles ou un agencement des deux pour orienter le flux lumineux qu'ils produisent. Il est vrai qu'ils absorbent une partie de la lumière produite mais si on les choisit judicieusement, ils peuvent aider à l'accroissement du rendement global du système en dirigeant la lumière là où il en faut. Les lentilles orientent la lumière et elles servent aussi à en atténuer l'éblouissement.

Mesure du rendement lumineux d'une ampoule incandescente

L'expérience suivante aide à saisir l'aspect pratique des notions fondamentales d'éclairage; elle se réalise avec une lampe à incandescence domestique ordinaire et un luxmètre standard à cellule dans une enceinte complètement noire et sans réflexion. Il est indispensable d'opérer dans une enceinte complètement noire, de manière que seule la lumière émanant directement de l'ampoule entre en ligne de compte. (Dans une pièce à grand rendement énergétique peinte de couleurs claires, les murs, le plafond et le plancher réfléchissent une grande quantité de lumière.) Quand on pose l'appareil de mesure à 30 cm d'une ampoule à incandescence de 40 W, il donne une lecture de 700 lx. Quel est le flux lumineux total à la sortie (débit de lumière) de l'ampoule?

L'appareil de mesure est assez éloigné de l'ampoule (c'est-à-dire 5 fois la plus grande dimension de la source) pour être assimilable à une source ponctuelle uniforme. En appliquant la formule précédente,

$$E = \frac{\Ø}{A}$$

ou

$$\Ø = E \times A$$

on obtient le flux total:

= (lecture de l'appareil) x (aire illuminée)
= (700) x (aire illuminée)
= (700) x (aire d'une sphère de 30 cm de rayon)
= (700) x (4 π x 0,30 x 0,30)
= 792 lm

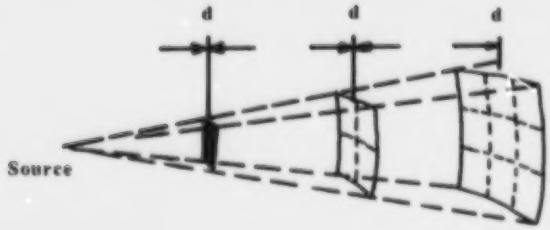
Quelle lecture donnerait l'appareil de mesure à une distance de 60 cm de l'ampoule? L'équation précédente a servi au calcul de l'éclairement total de l'ampoule; elle peut aussi servir à déterminer la lecture de l'appareil de mesure placé à une distance donnée.

$$E = \frac{\Ø}{A}$$

Lecture du compteur = 792 / (4π x 0,60 x 0,60)
= 175 lx

La lecture de l'appareil change en fonction de la distance qui le sépare de la source lumineuse, selon la loi dite <<de l'inverse du carré>>. La lecture du compteur varie en raison inverse du carré de la distance qui le sépare de l'ampoule. Quand on éloigne la source lumineuse, l'illumination diminue comme suit:

Distance de la source d'éclairage	Illumination
1 m	E ou 100 lx
2 m	E/4 ou 25 lx
3 m	E/9 ou 11 lx
4 m	E/16 ou 6 lx



Mesure du flux de la source lumineuse
Illustration 3a

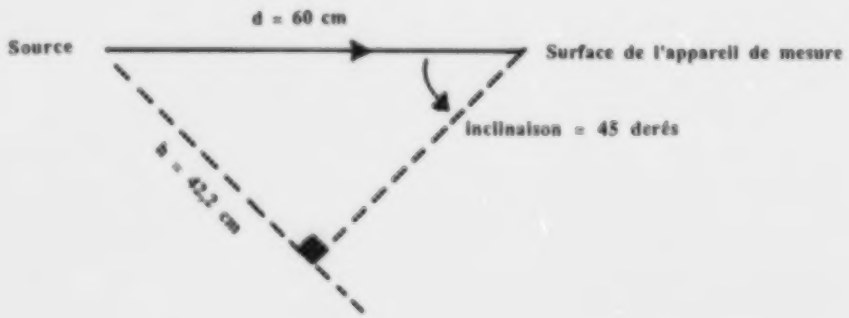
Observer à l'ill. 3a comment l'aire nécessaire à l'interception d'une quantité fixe du flux de la source lumineuse augmente comme le carré de la distance à cette source. Plus on s'éloigne de la source lumineuse, moinselle contribue utilement à l'éclairage.

Quelle lecture donnerait l'appareil posé à une distance de 60 cm si, au lieu d'être orienté directement vers l'ampoule, il était incliné à 45 degrés?

L'ill. 3b montre que la lecture de l'appareil diminue proportionnellement au facteur h/d qui tient compte de la réduction de la lumière incidente par mètre carré de surface:

Lecture de l'appareil = 175 x (42,4 cm ÷ 60 cm)
= 124 lx

Cette équation souligne le fait qu'un appareil d'éclairage disposé directement au-dessus d'un poste de travail contribue bien davantage à l'illuminer qu'un autre appareil semblable disposé à la même distance qui ne serait pas directement orienté vers la surface de travail.



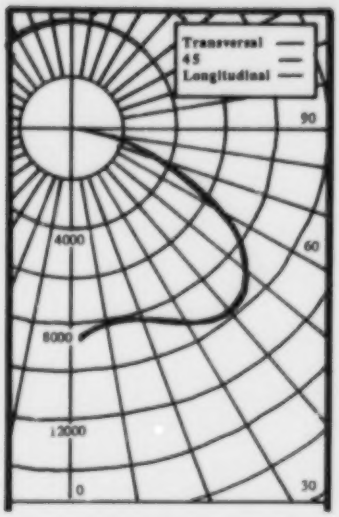
Mesure de l'éclairage incident réduit
Illustration 3b

Courbe de répartition d'intensité d'une source lumineuse

Dans l'exemple précédent, on a assimilé l'ampoule d'éclairage de 40 W à une source ponctuelle. Cependant, la plupart des cas ne sont pas aussi simples. Par conséquent, les fabricants d'appareils d'éclairage publient des courbes de répartition d'intensité de leurs lampes et leurs luminaires. Cette courbe est une représentation graphique de l'intensité lumineuse (mesurée en candelas) dans toutes les directions d'émission du flux lumineux. L'ill. 4 est un exemple de répartition d'intensité croisée, dont la conception spéciale sert aux appareils d'éclairage des baies surbaissées.

Efficacité lumineuse d'une source d'éclairage

Un facteur important du choix des sources lumineuses destinées à diverses applications est leur efficacité



Répartition d'intensité croisée
Illustration 4

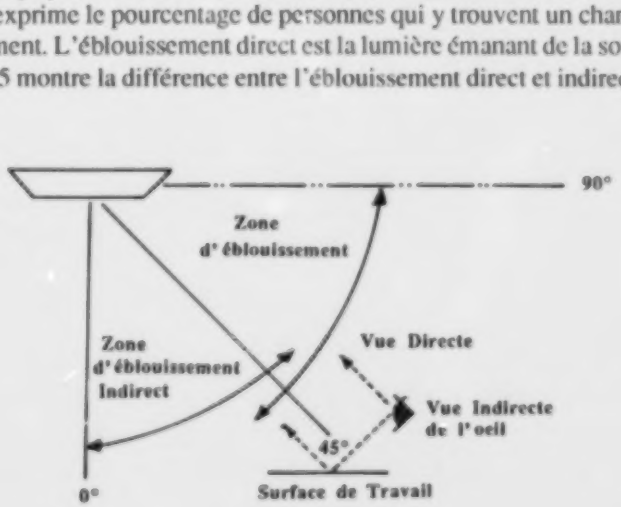
lumineuse. L'efficacité d'une lampe se détermine par la quantité de lumière, mesurée en lumens, produite pour chaque watt d'électricité qu'il faut à cette lampe. Le choix de lampes à grande efficacité réduit donc la consommation d'électricité.

Qualité de l'éclairage

L'éclairage comporte deux aspects complémentaires: la quantité et la qualité de la lumière produite. Il existe de nombreuses manières d'illuminer un poste de travail avec la même quantité de lumière. On a constaté que certaines de ces méthodes sont meilleures que d'autres en ce qu'elles créent un environnement visuel plus confortable et plus efficace. Ces différences se rangent toutes dans le chapitre général de <<l'éclairage de qualité>>. Dans son sens le plus large, la qualité de l'éclairage s'applique à des considérations d'architecture et d'esthétique. En termes plus pratiques, toutefois, on peut la percevoir comme le contrôle de l'éblouissement et la possibilité de distinguer les couleurs. Un système d'éclairage de grande qualité donne un minimum d'éblouissement. L'éblouissement neutralise les bienfaits des niveaux appropriés d'illumination et réduit la productivité du travailleur.

Possibilité de confort visuel

Une installation d'éclairage productive doit être confortable. Un des critères de confort visuel est la probabilité de confort visuel (PCV) qui exprime le pourcentage de personnes qui y trouvent un champ visuel donné acceptable en ce qui a trait à l'éblouissement. L'éblouissement direct est la lumière émanant de la source qui atteint directement l'oeil de l'observateur. L'ill. 5 montre la différence entre l'éblouissement direct et indirect (réfléchi). Les fabricants

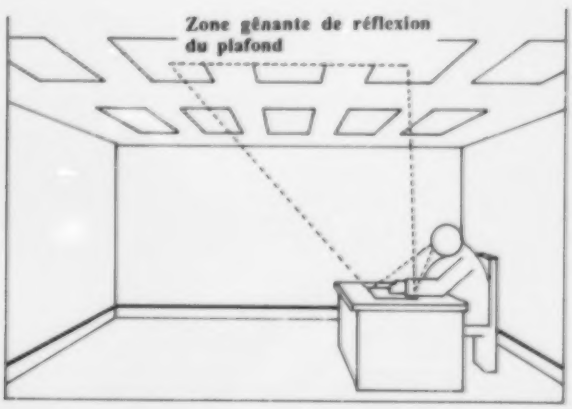


Secteurs d'éblouissement direct et indirect
Illustration 5

d'appareils d'éclairage publient des tableaux de PCV de leurs appareils. Un PCV de 70 ou plus procure habituellement un environnement visuel acceptable dans un bureau typique.

Éblouissement indirect

L'éblouissement indirect se produit quand la lumière est réfléchie par une surface dans les yeux du travailleur (ill. 6). Quand cette réflexion gênante provient de la surface même de travail, il se produit une forme d'éblouissement indirect appelé <<voile de réflexion>>. On l'appelle ainsi parce que son effet est comparable au déploiement d'un voile mince sur le travail. La manière de contrer l'éblouissement indirect réside dans la planification de l'aménagement d'une pièce de façon à minimiser l'illumination provenant de l'espace situé devant le travailleur (de l'aire gênante). La majeure partie de l'illumination doit provenir de l'arrière et de la gauche du travailleur, de sorte qu'aucune lumière partant de l'aire de travail ne puisse se réfléchir dans ses yeux. Observer que cet objectif se réalise plus facilement avec des lampes tubulaires en les orientant perpendiculairement aux tables de travail ou aux tâches.



Voile de réflexion de l'aire gênante

Illustration 6

Indice de rendement des couleurs (IRC)

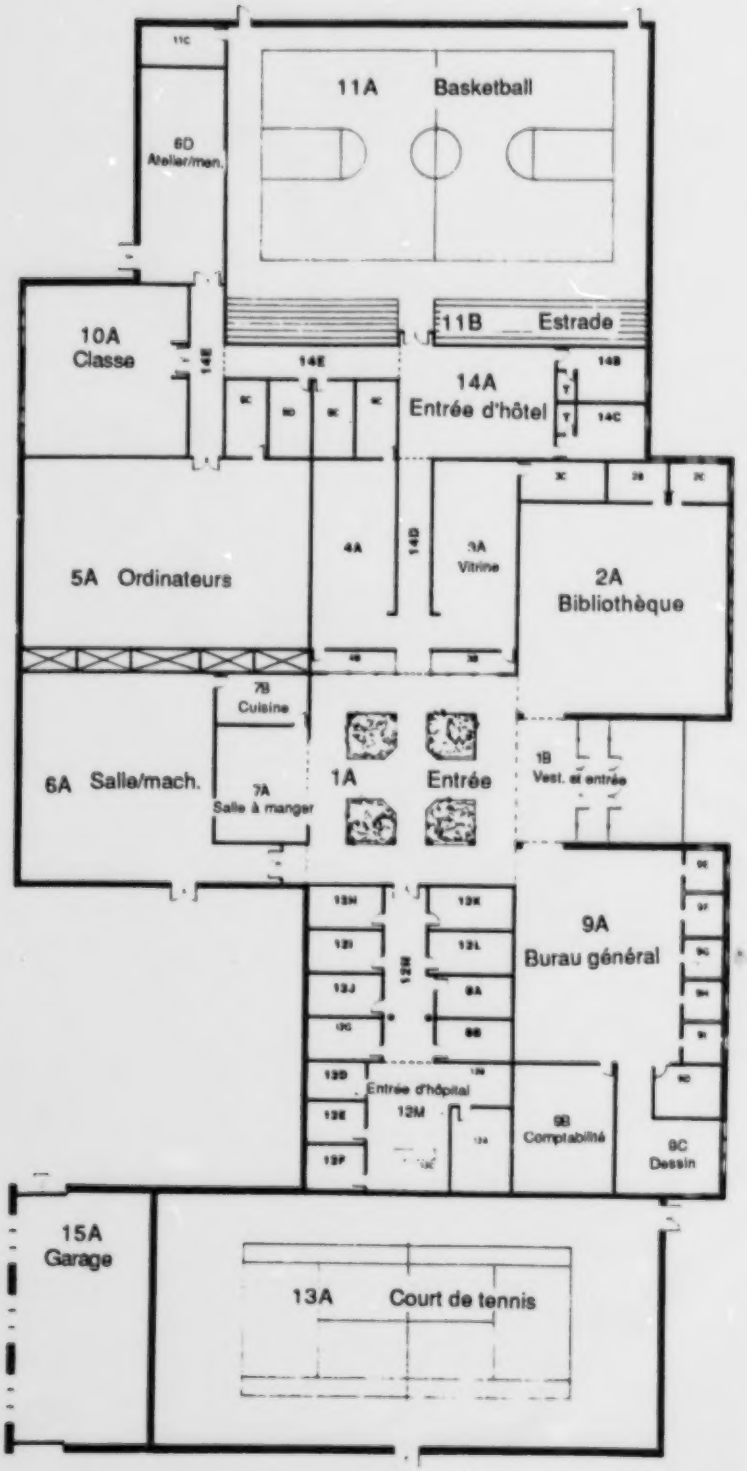
La propriété d'une source lumineuse de permettre la perception appropriée ou standard des couleurs s'exprime par son indice de rendement des couleurs. Une lampe idéale a un indice de rendement des couleurs de 100. La CIE (Commission internationale de l'éclairage) a publié un processus approuvé de spécifications de l'IRC d'une source lumineuse. L'IRC d'une source de référence est établie à 100 et les IRC des autres sources, à moins de 100. Une lampe fluorescente ordinaire blanche à un IRC de 50. A l'autre extrémité de l'échelle, une lampe à vapeur de sodium basse pression a un IRC de -45.

Les fabricants d'appareils d'éclairage ont mis au point des lampes qui donnent aux objets des couleurs apparentes que le consommateur préfère. Le comptoir des viandes du supermarché du lieu, par exemple, est éclairé avec des ampoules dont la conception spéciale donne à la chair une couleur attrayante. Quand le consommateur regarde chez lui ses pièces préférées, il constate que leur couleur est légèrement différente de celle au supermarché.

Dans plusieurs industries, il est superflu de distinguer les couleurs avec précision, ce qui laisse le choix d'utiliser des lampes particulièrement efficaces énergétiquement, dont la lampe de sodium basse pression est la plus économique. En raison de la psychologie inhérente aux couleurs chromatiques, il faut éviter l'éclairage intérieur au sodium à basse pression là où les heures de travail sont longues.

Besoins d'énergie des systèmes d'éclairage

Quelle est l'efficacité énergétique de votre système d'éclairage? Est- ce qu'il représente ce qu'il y a de mieux, compte tenu de vos besoins? L'IES (Illuminating Engineering Society) a prescrit une formule de densité d'énergie unitaire (DEU) servant à déterminer la mesure corrective appropriée.



No	Description	Remarque
1A	Entrée	
1B	Vest. et entrée	
2A	Bibliothèque	30% étagères, 70% lecture
2 B C	Bureau	2 aires de travail, Lecture
3&4	Magasin	50% march. 50% circ.
A 3&4	Vitrine	
B 3&4	Rangement	
C 5A	Ordinateurs	
6A	Salle/mach.	
6C	Salle/élec.	
6D	Atelier/men.	
7A	Salle à manger	
7B	Cuisine	
8 A D	Toilette	
9A	Burau général	25 aires de travail
9B	Comptabilité	10 aires de travail
9C	Dessin	4 aires de travail
9D	Classement	Inactif
9 E F	Bureaux	2 aires de travail,Lecture
10A	Classe	
11A	Basketball	Collège et secondaire
11B	Estrade	
11C	Rangement	Actif
12A	Salle d'op.	
12B	Salle de nett.	
12C	Poste infirmier	
12 D F	Laboratoire	
12 G J	Salle de patient	Avec baignoire
12 K L	Bureaux	3 aires de travail, Lecture
12M	Entrée d'hôpital	
12N	Couloir	
13A	Court de tennis	Club
14A	Entrée d'hôtel	
14 B C	Chambre d'invités	
14D	Couloir	
14E	Couloir	
15A	Garage	30% circulation, 70% réparations

Plan de bâtiment illustrant le calcul de la DEU
Illustration 7

Maximum admissible d'énergie d'éclairement de chaque pièce

Le tableau 3 montre l'énergie admissible d'éclairement exprimée en watts par mètre carré. Pour chaque pièce, on établit comme suit un budget d'énergie:

Maximum admissible d'énergie d'éclairement:
= DEU figurant au tableau x aire de travail (tA) x facteur caractéristique de la pièce (FP) x facteur d'utilisation de l'espace (FUE)

Exemple de feuille de travail du processus de calcul de DEU

L'ill. 7 illustre l'aménagement d'un bâtiment qui abrite plusieurs applications d'éclairage. Le tableau 4 de 2 pages est une feuille de calcul du DEU contenant le budget d'énergie d'éclairage de chaque pièce représentée dans l'aménagement de la surface de plancher. Le tableau 5 est une feuille de la somme des résultats pour tout le bâtiment.

Détails du calcul de la DEU

Le vestibule et le foyer (1b) montrés à l'ill. 7 servent à illustrer l'application de la méthode de densité d'énergie unitaire. L'ensemble du vestibule et foyer (1b) a une longueur de 9,1 m, une largeur de 6,7 m et une hauteur au plafond de 2,4 m. L'aire de la pièce (6,7 x 9,1) est de 61 mètres carrés. Chercher dans le tableau 6 la largeur la plus rapprochée de la largeur donnée, 6,1 mètre. La longueur la plus rapprochée du tableau est de 9,1 mètres. Par conséquent, le facteur pièce est 1,15. C'est dire que la tâche correspond à l'aire totale de la pièce. Le facteur d'utilisation de l'espace est donc égal à 1. La valeur au tableau 3 de la DEU pour le vestibule et le foyer est de 10,76 watts par mètre carré. Par conséquent, le maximum de puissance d'éclairement admissible pour cette pièce est

Valeur de la DEU au tableau x tA x FP x FUE
= 10,76 x 61 m^2 x 1,15 x 1
= 755 W

Application du budget de la DEU recommandé

La formule de calcul du DEU décrite précédemment est un instrument d'économie d'énergie. La section intitulée Occasions favorables d'économie d'énergie contient une feuille de travail où on passe par les trois étapes suivantes:

1. Déterminer le maximum d'énergie d'éclairement pour une pièce donnée en appliquant le processus de calcul de la DEU.
2. Déterminer la puissance réelle d'éclairement connectée dans chaque pièce. Elle comprend celle des lampes, des ballasts, les pertes de voilement d'éclairage et l'énergie nécessaire aux lampes portatives et aux lampes d'appoint. On en trouve la consommation en watts soit sur les plans du circuit d'éclairage, soit en la lisant directement sur les lampes, les ballasts et les atténuateurs.
3. Si la puissance réelle d'éclairement déjà connectée excède la limite calculée de la DEU, les espaces qu'on croit être les plus inefficaces peuvent faire l'objet d'un examen plus approfondi.

Les trois qualités d'un bon circuit d'éclairage

La limite de puissance d'éclairement connectée selon le calcul de la DEU est seulement une des qualités d'un bon réseau d'éclairage. Il doit en avoir d'autres:

1. Satisfaire la limite de puissance d'éclairement connectée selon la formule de la DEU.
2. Donner de la lumière en conformité des exigences quantitatives de la pièce et
3. Produire un éclairage de bonne qualité et créer un environnement visuellement intéressant et confortable.

Exigences d'éclairement de la pièce

Quelle est la meilleure quantité d'éclairement convenant à un local particulier? Dans le calcul de la quantité d'éclairement nécessaire à une pièce donnée, quatre caractéristiques peuvent entrer en ligne de compte:

1. La nature de l'activité poursuivie dans l'aire (genre de tâches visuelles),
2. L'âge du travailleur,
3. L'importance de la vitesse et de la précision du processus visuel et
4. La réflectance de fond de la tâche.

On établit comme suit la quantité d'illumination nécessaire:

1. Déterminer le genre de travaux (exemple: lecture d'originaux dactyloraphiés) et localiser le lieu de travail.

2. Trouver dans le tableau 7 (3 pages) la classe d'éclairement convenant à l'activité en vue. En raison de la nature des tâches des catégories A à C, ces catégories s'appliquent à l'aire toute entière de l'espace envisagé. D'autre part, les catégories de D à F doivent s'appliquer sélectivement aux postes distincts de travail. Les catégories de G à I sont rares; elles concernent des applications difficiles d'éclairement (exemple: couture au fil noir de tissu noir).

3. Déterminer d'après le tableau 8 les facteurs appropriés de pondération pour chaque caractéristique. Pour les catégories d'illumination de A à C, si la somme des facteurs de pondération est -1 ou -2, utiliser le plus faible des trois éclairements énumérés au tableau 7; si elle est de +1 ou +2, utiliser la valeur la plus élevée. Autrement, utiliser la valeur intermédiaire. Pour les catégories d'éclairement de D à G, utiliser le même procédé avec -2 et -3 et +2 et +3.

Détermination des niveaux recommandés d'éclairement

Dans l'exemple suivant, il s'agit de transformer une salle de conférences en bureau de génie où les ingénieurs et leurs clients doivent reviser des épures et des spécifications. Les murs de la pièce sont garnis de boiseries et le plancher, de tapis foncé. La réflectance du fond de plan de la tâche est moyenne. Pour arriver à l'éclairement recommandé dans le cas de la salle de conférences, se rapporter au Tableau 1. Il indique la catégorie E pour les tâches moyennes d'éclairement comme celle d'un bureau de génie. Observer que la catégorie applicable à la salle de conférences est D; par conséquent, la transformation comporte un accroissement de la quantité de lumière nécessaire aux bureaux de génie. Elle sera occupée par des personnes de tous les âges (dont des personnes de plus de 55 ans); la vitesse et la précision sont importantes et les réflectances sont de 30 à 70 pour cent. D'après le Tableau 8, le facteur de pondération est de +1. En l'appliquant à la gamme d'éclairement prescrit pour la catégorie E du Tableau 1, on trouve une illumination recomandée de 750 lx.

Calcul du nombre d'appareils d'éclairage nécessaires

La <<méthode de zone de cavité>> est une formule prescrite de calcul du nombre d'appareils d'éclairage électrique nécessaires à l'illumination d'un plan horizontal entier situé à 76 cm au-dessus du plancher (le plan de travail) d'une quantité prescrite d'éclairage moyen. Les facteurs qui influent sur le nombre nécessaire d'appareils d'éclairage sont:

1. La propriété de tel appareil d'éclairage de projeter la lumière sur l'aire de travail,
2. La propriété des surfaces de la pièce de réfléchir de la lumière sur l'aire de travail et
3. Les propriétés des lampes de produire l'éclairement pendant leur durée utile.

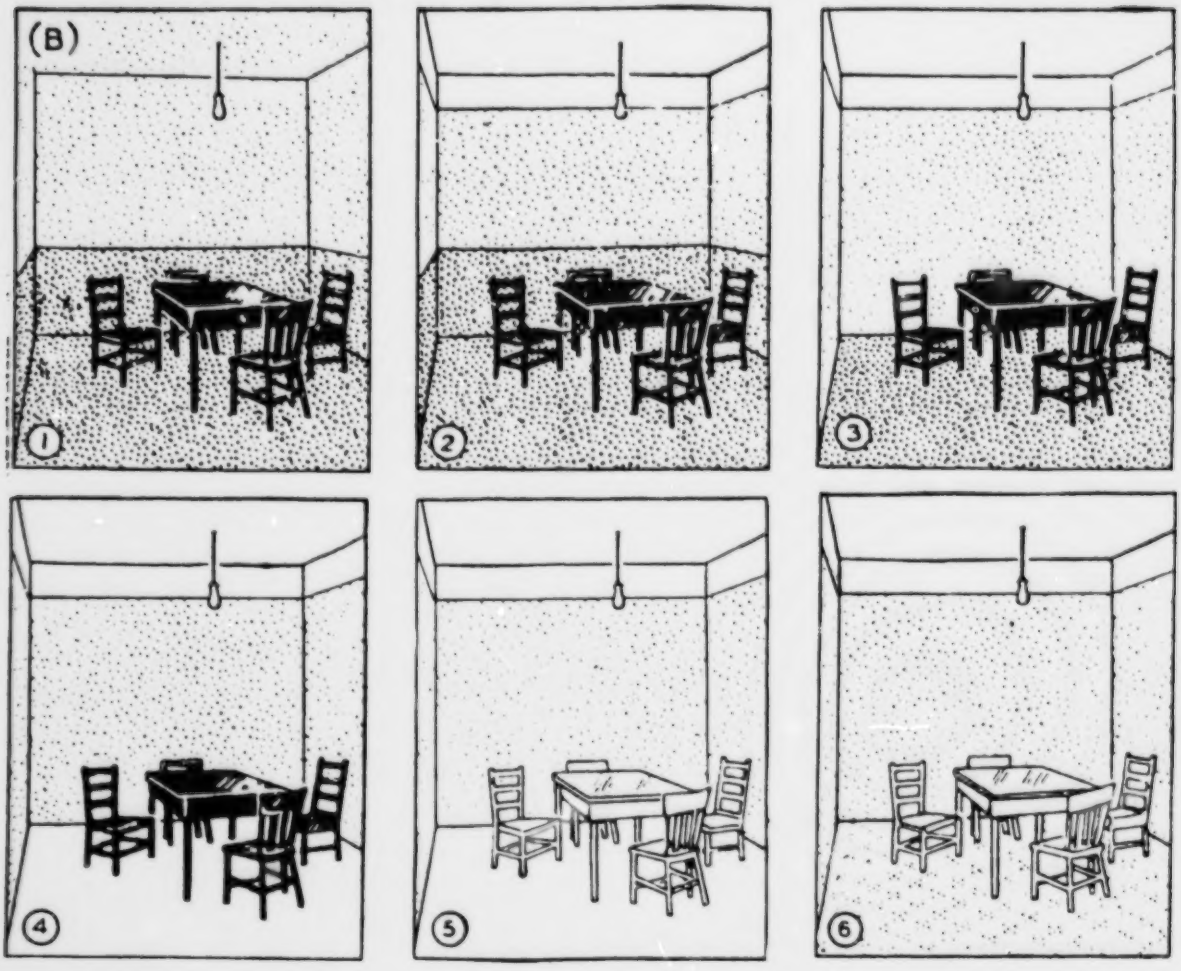
Le processus établit de fait que l'efficacité de la lampe n'est pas le seul élément de l'efficacité globale du réseau d'éclairage. La proportion de lumière produite qui atteint l'aire de travail a une égale importance. Cette proportion de lumière <<utilisable>> s'appelle le coefficient d'utilisation (CU); le fabricant précise le CU de chaque type différent d'appareil d'éclairage. Il exprime pour chacun l'efficacité de projection de la lumière sur l'aire de travail.

Ce processus montre aussi l'importance de grandes réflectances superficielles pour donner un système d'éclairage efficace. L'ill. 8 montre les résultats d'une étude sur l'éclairage qui illustre quantitativement l'exactitude des observations précédentes. On y constate qu'une source de lumière produirait un niveau moyen d'éclairement de 80 lx avec un premier arrangement de couleurs. Après l'ajout d'une bordure entre les murs et le plafond pour créer une cavité de plafond à grande réflectance et améliorer les autres réflectances de la pièce, la même source de lumière a donné un niveau d'illumination excédant 400 lx. Le lecteur trouvera un exemple progressif de la méthode de réalisation de zone de cavité dans la section Occasions de gestion d'énergie.

Illumination verticale

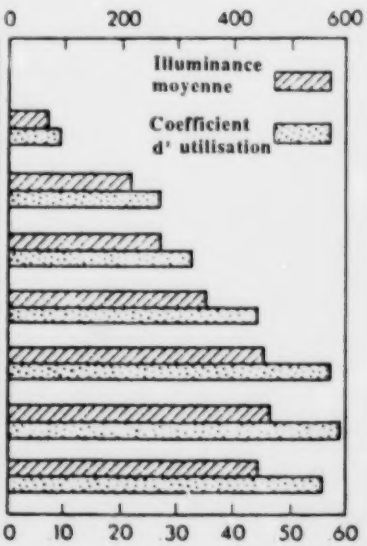
Il est opportun de retenir que la méthode de zone de cavité sert à donner une illumination moyenne à un plan horizontal seulement. La technologie de l'éclairage a évolvé defaçon telle que l'application en plan horizontal recommandée dans certaines usines ne convient pas. En pareil cas, il est possible d'améliorer l'environnement visuel et d'épargner de l'énergie en mesurant les niveaux d'éclairage sur les plans appropriés en plaçant des appareils d'éclairage qui donnent les résultats voulus sur l'aire réelle de travail.

Grâce à leurs qualités d'illumination verticale, les surfaces verticales des machines, les travailleurs, les murs et les objects situés dans le champ visuel auraient un aspect plus brillant. En certains endroits, cette formule constituerait une amélioration concrète.



Étape	Plafond			Murs		Plancher		Ameublement	
	hauteur	couleur	ρ*	couleur	ρ*	couleur	ρ*	couleur	ρ*
Départ	12 FT	Blanc	30						
1	10 FT		65	Blanc et gris	40	Rouge foncé	12	Chêne foncé	28
2	10 FT		85						
3	10 FT	Crème	85						
4	10 FT		85	Vert	72	Blanc	85	Blond	50
5	10 FT		85						
6	10 FT		85			Blanc et roux	70		

* Réflectance



(D)

L'importance des grandes réflectances superficielles
Illustration 8

Éclairage de la tâche sans appareils suspendus

Un agencement d'éclairage de tâche et d'éclairage suspendu est le moyen le plus économique d'assurer sur place un niveau élevé d'illumination. L'éclairage encastré sans appareils suspendus manque d'efficacité énergétique et ne doit donc pas constituer un élément important du système d'éclairage.

Quand des appareils d'éclairage montés dans les meubles apportent un appoint au nombre restreint d'appareils d'éclairage suspendus, l'inventaire des appareils d'éclairage du bâtiment contient un grand assortiment de lampes et de points d'installation. Cette disposition a tendance à compliquer le programme d'entretien et de gêner l'obtention de réductions de prix sur la quantité. Les économies se dissipent vite quand un préposé à l'entretien mal renseigné installe le mauvais type de lampe dans un appareil.

En outre, les lampes DHI (à décharge haute intensité) de plus fort wattage sont plus efficaces; elles durent plus lontemps que les unités de moindre wattage. Cependant, il existe une limite à la taille de lampe utilisable à proximité d'une table de travail.

Grâce à la technologie existante, il est possible d'obtenir un design d'éclairage suspendu à grande efficacité énergétique de moins de 20 W/m^2. D'ordinaire, ce n'est pas le cas du design qui applique le concept d'éclairage de tâche au moyen d'appareils encastrés sans appareil suspendu. Afin de minimiser les pertes d'énergie dans les lignes d'alimentation, les charges d'éclairage doivent être acheminées dans les lignes dont la tension est aussi élevée que le permettent la pratique et la sécurité. Le respect des codes de l'électricité limite la tension admissible des appareils d'éclairage encastrés.

L'éclairage d'ambiance de tâche ne limite pas ses effets à la seule région du travail mais il transforme aussi toute sa consommation d'énergie en chaleur dans l'espace de travail. Il peut en résulter une plus grande fréquence des changements d'air qui impose aux climatiseurs une plus lourde charge et une plus grande consommation d'énergie.

Identification des occasions de gestion de l'énergie

Le bilan énergétique est indispensable à la mise en place avec succès d'un programme de gestion d'énergie. En ce qui a trait au système d'éclairage, il s'agit de recueillir des renseignements de trois catégories:

1. la quantité d'énergie que le système absorbe,
2. la quantité d'illumination qu'il produit et
3. la quantité d'illumination nécessaire pour satisfaire les besoins visuels anticipés.

Le genre de lampes, de luminaires, l'énergie à l'entrée, les modes de contrôle, le genre de tâches visuelles accomplies, le lieu, le fonctionnement et les horaires d'entretien sont autant de considérations importantes et pertinentes.

Bilan d'inspection sur place

L'évaluation initiale générale de la consommation d'énergie d'éclairage d'un lieu s'appelle bilan d'inspection sur place. Dans le texte du présent module, on compare et on évalue diverses formes de mesures correctives. Ces occasions favorables d'économie d'énergie se partagent en trois catégories:

1. les mesures d'économie d'énergie dans le milieu sont celles qui se répètent à intervalles réguliers, comme les programmes d'exploitation et d'entretien,

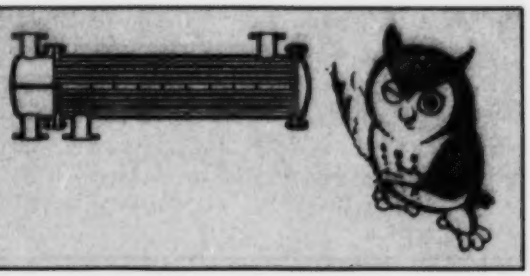
2. les mesures d'économie d'énergie à bon compte sont celles qu'on applique une fois et dont le coût n'est pas très élevé.

3. les mesures d'économie d'énergie appliquées après coup sont celles qu'on applique une fois et dont le coût est important.

Observer que le partage entre les mesures à bon compte et les mesures après coup est fonction en définitive de la taille et du type d'organisation aussi bien que de l'état de l'encaisse.

Le lecteur devrait se référér au module <<Effectuer un bilan d'énergie>> de la présente série s'il désire de plus amples renseignements sur la façon d'établir un tel bilan.

APPAREILLAGE



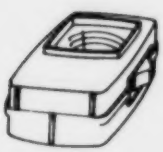
Le champ de la technologie de l'éclairage a évolué rapidement. Les dix dernières années ont apporté une foule de nouvelles idées brillantes et d'appareils d'éclairage. De nos jours, on fabrique près de 6000 modèles de lampes. Outre les lampes, on a vu des innovations comme les ballasts, les lentilles, les luminaires (appareils d'éclairage), les interrupteurs, les contrôleurs et l'équipement d'énergie électrique de relève d'urgence servant à l'éclairage. Dans la présente section, on revoit et on condense la technologie éprouvée de chacune de ces catégories d'articles.

Photomètres portatifs

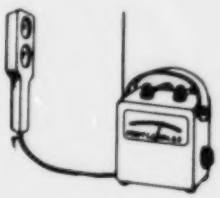
Les mesures d'éclairement se font habituellement avec de petits luxmètres portatifs bon marché (ill. 9). Ces appareils contiennent une cellule photosensible qui met à profit l'effet photovoltaïque pour donner une lecture de l'illumination. Souvent, la cellule photosensible du luxmètre a la forme d'une sonde photosensible séparée branchée à un affichage au moyen d'une rallonge (ill. 10). Ce dispositif permet de lire le compteur sans projeter d'ombre sur la face de la cellule. Il existe un assortiment de photomètres dont les échelles en lux conviennent à un grand nombre d'applications.

Retenir que les lectures d'un photomètre portatif sont précises à plus ou moins 15 pour cent. Même dans des conditions favorables, le photomètre n'est jamais un instrument de précision et par conséquent, il convient de s'entourer des précautions suivantes quand il sert aux mesures sur place:

1. N'utiliser que des instruments étalonnés,
2. S'assurer que le photomètre est muni de filtres correcteurs de couleurs (pour se rapprocher de la réaction de l'oeil),
3. S'assurer que la cellule du photomètre est munie d'un couvercle diffuseur pour que la lumière provenant de toutes les directions soit évaluée adéquatement. Cette caractéristique s'appelle communément correction cosinusoïdale, et
4. Laisser au photomètre un intervalle de temps assez long pour que la lecture se stabilise avant de consigner les observations, surtout quand les niveaux d'illumination sont très élevés.



Photomètre portatif
Illustration 9



Photomètre avec rallonge
Illustration 10

Lampes

Le Tableau 9 montre six genres différents de lampes. Les lampes à incandescence n'exigent aucun ballast mais il en faut à tous les autres genres. Les autres types de lampes sont appelés lampes à décharge; la lumière provient de l'excitation des gaz que contient la lampe. Les lampes à décharge comprennent les lampes fluorescentes, les lampes à vapeur de sodium à basse pression, les lampes DHI (à décharge à haute intensité). Il faut un ballast à toutes les lampes à gaz lumineux.

Efficacité lumineuse

L'efficacité lumineuse théorique maximale d'une lampe est de 683 lumens par watt; ce serait une lampe qui émettrait toute son énergie d'entrée en flux lumineux à longueur d'onde à laquelle l'oeil humain est le plus sensible (555 nm). La lampe à vapeur de sodium basse pression, dont la radiation est intense à 589 nm, est celle qui se rapproche le plus de cette définition idéale; elle donne une lumière ambrée caractéristique avec une efficacité de 180 lumens par watt. Le tableau 9 donne une valeur plus faible qui reflète le supplément d'énergie du ballast. Cependant, cette source de lumière hautement monochromatique (d'une seule couleur) est dépourvue de la propriété de rendement des couleurs. L'efficacité lumineuse théorique maximale d'une source lumineuse à bon rendement des couleurs (lumière blanche) est de 250 lumens par watt.

Pourcentage de dépréciation du flux lumineux

Avec le temps, le rendement lumineux d'une lampe fléchit: c'est un processus de détérioration connu sous le nom de dépréciation du flux lumineux. L'aptitude d'une lampe à conserver son rendement lumineux s'appelle le maintien du flux lumineux; il s'exprime par le rapport des lumens émis à un vieillissement spécifié quelconque (comme 70% de la durée nominale) aux lumens émis quand elle est neuve. Si donc la durée nominale d'une lampe à incandescence de 100 watts était de 1000 heures et si son rendement initial en lumens était de 1200 lm, son rendement à un vieillissement de 700 heures serait de 1056 lm. D'après ces données, le pourcentage de dépréciation du flux lumineux serait de (1200 - 1056) ÷ 1200 = 12%. Le maintien du flux lumineux serait donc de 88%.

Couleur apparente des lampes

Les fabricants classent les couleurs apparentes des sources lumineuses en couleurs chaudes et couleurs froides.

Couleurs chaudes: semblables à la lumière des lampes à filament; on les préfère dans les climats froids et dans les endroits où la couleur chaude des lampes à filament est acceptée par tradition, comme dans les hôtels et les restaurants.

Couleurs froides: semblables à la lumière du jour par temps ensoleillé; on les préfère dans les climats chauds et dans les endroits où il faut obtenir un effet de fraîcheur et un bon rendement des couleurs, comme dans les bureaux des cadres et les magasins de détail.

Lampes à incandescence

La lampe à incandescence est la plus répandue de nos jours. C'est aussi celle qui a le plus faible rendement lumineux et la plus courte durée. Cette lampe et les appareils d'éclairage qui l'accompagnent se sont répandus à cause de leur coût initial relativement bas et la simplicité de leur utilisation sans ballast.

Les lampes à incandescence émettent de la lumière par chauffage d'un menu filament métallique. C'est une méthode toute différente de celle des lampes à décharge. En raison de leurs pertes thermiques, la production de lumière par des lampes à incandescence est inefficace par nature (15 lm/W). La conception d'une lampe à incandescence est telle que sa durée peut être prolongée presque à volonté. Mais son efficacité diminue dans la mesure où sa durée se prolonge. Une lampe de longue durée par conception est conséquemment inefficace par nature en raison de la dépréciation du flux lumineux. Étant donné que le coût de l'énergie absorbée par une lampe pendant sa durée varie de 6 à 25 fois son propre coût, l'efficacité de cette lampe est aussi de 6 à 25 fois plus importante, du point de vue économique, que la durée de la lampe. A 0,06$/kWh, l'énergie consommée par une lampe de 100 watts qui coûte 0,50$ et d'une durée de 750 heures s'élèverait à 4,50$.

Les épargnes de coût d'énergie imposent de revoir toutes les installations de lampes à filament, surtout les installations d'éclairage général.

Les lampes à incandescence servent couramment à l'éclairage convergent et à l'éclairage à grands faisceaux, tant aux fins de la décoration extérieure qu'à l'éclairage de sécurité, des salles de réunion, des foyers, des couloirs et des restaurants. Pour des raisons d'esthétique, les lampes à incandescence trouvent toujours de nouvelles applications. Le moyen de satisfaire ce besoin d'une façon réaliste et efficacement énergétique consiste à envisager des variantes de la lampe à incandescence, soit la lampe à halogène, soit le réflecteur ellipsoïde (RE).

Lampes à halogène

Le gaz halogène de la lampe à halogène (ou quartz) cause une réaction chimique qui garde propre l'intérieur de l'ampoule et de ce fait, maintient la lampe plus efficace énergétiquement. La durée de la lampe est aussi prolongée

par le cycle de la réaction chimique qui redépose le tungstène vaporisé sur le filament de tungstène restant. Malheureusement, tout le tungstène ne redépose pas aux points d'où il s'est vaporisé. Par conséquent, cette lampe a aussi une durée limitée. Une lampe à halogène de 1200 watts coûte quelque 20% de plus qu'une lampe ordinaire de 1500 watts qu'elle remplace. Au cours de ses 2000 heures de durée, elle économise environ 36$ (à 0,06$/kWh) compte tenu de son coût d'achat initial.

Lampe-réflecteur

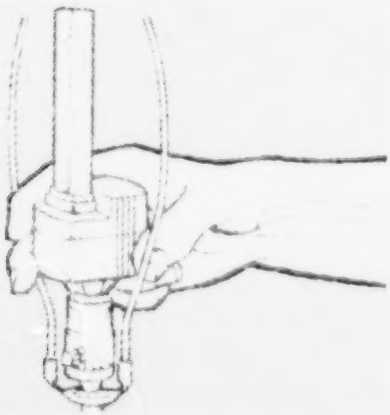
On adapte parfois des réflecteurs et des lentilles aux lampes pour obtenir un effet de lampe-réflecteur. Ce sont des lampes à deux pièces faites de verre résistant à la chaleur. Une des pièces sert de réflecteur parabolique et l'autre, de lentille. Une lampe-réflecteur peut orienter et concentrer la lumière sur une surface de travail, là où elle est nécessaire. Exemple: une lampe-réflecteur ellipsoïdale de 75 W donne plus de lumière à la surface de travail qu'une lampe R 40 de 150 W quand elles sont montées toutes les deux sur un appareil d'éclairage orienté vers le bas.

Les trois modèles de lampes-réflecteurs les plus répandus sont le modèle à réflecteur (R), à réflecteur parabolique aluminisé (RPA) et à réflecteur ellipsoïdal (RE). La lampe à réflecteur parabolique aluminisé (ill. 11) faite d'un verre dur et résistant à la chaleur convient à l'éclairage extérieur et intérieur. La forme spéciale des lampes à réflecteur parabolique concentre la lumière émise à quelque deux pouces de l'ampoule, ce qui fait qu'une bien faible proportion de lumière est interceptée par les déflecteurs de l'appareil d'éclairage.

Réflecteurs paraboliques aluminises (RPA)
Illustration 11

Substitution d'autres types de lampes dans les appareils d'éclairage à incandescence

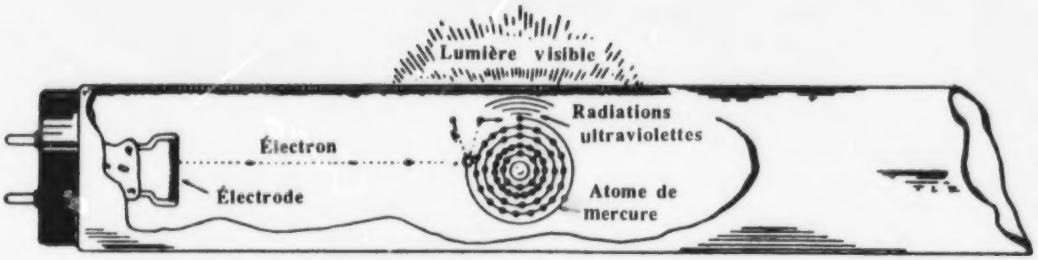
Les appareils ordinaires d'éclairage à incandescence peuvent devenir plus efficaces énergétiquement quand on les remplace par des lampes à halogène (MH) ou des lampes fluorescentes de petite taille (7 po de longueur, 3 po de diamètre comprenent un ballast intégré jetable) [ill. 12].



Lampes de rechange pour les lampes à incandescence
Illustration 12

Lampes fluorescentes

La lampe fluorescente est une lampe à décharge dans une vapeur de mercure à basse pression. Elle émet efficacement une radiation ultraviolette transformée en lumière visible par un enduit de phosphore à l'intérieur du tube (ill. 13).



Lampes fluorescentes
Illustration 13

Types de lampes fluorescentes

Il existe sur le marché plusieurs types de lampes fluorescentes:
CW — Cool White (à lumière froide blanche)
WW — Warm White (à lumière chaude blanche)
CWX — Cool White Deluxe (à lumière froide blanche de luxe)
WWX — Warm White Deluxe (à lumière chaude blanche de luxe)
ES — Energy Saving (à épargne d'énergie)
HO — High Output (à grand rendement)

Utilisation des lampes fluorescentes

Les lampes fluorescentes sont les plus ré pandues après les lampes à incandescence ; on les trouve partout dans les magasins, les bureaux, les usine, les entrepôts, les écoles, les hôpitaux et dans d'autres institutions.

Considérations sur la température de fonctionnement

Quand un tube fluorescent fonctionne à une température ambiante excédant 35 degrés C, comme dans un luminaire fermé, il faut avoir recours à des lampes à amalgame destinées à un service spécial. Autrement, la diminution du rendement de la lampe peut atteindre 30 pour cent. Le tube fluorescent à amalgame se compose en grande partie de mercure et d'argon. Les lampes à économiseur d'énergie ne sont pas recommandables là où la température de l'air ambiant peut tomber en-dessous de 16 degrés C. Les basses températures de l'air ambiant peuvent faire clignoter la lumière émise par la lampe à économie d'énergie. En outre, le rendement lumineux peut être atténué, les extrémités des lampes peuvent se cerner et enfin, sa durée peut être écourtée.

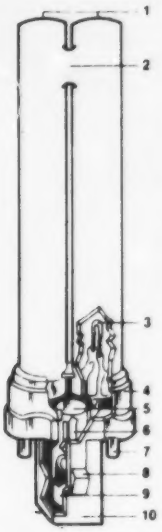
Lamples fluorescentes à économie d'énergie

On peut remplacer une lampe fluorescente ordinaire de 125 watts par une fluorescente à économie d'énergie de 100 watts, chargée de krypton. Bien qu'il y ait une diminution de 20 pour cent de la consommation d'électricité, d'où il résulte que la lampe fluorescente à économie d'énergie est énergétiquement plus efficace que le tube fluorescent ordinaire.

Un autre genre de lampe fluorescente à économie d'énergie est le tube de diamètre réduit (26 mm au lieu des 38 mm du tube ordinaire) à couches multiples de phosphore. De façon typique, remplacer une lampe de 40 watts par une de 35 watts procure une économie de 12,5 pour cent.

Petites lampes fluorescentes à tubes jumelés

L'ill. 14 montre un autre genre de lampe fluorescente. Il s'agit d'une lampe à tubes jumelés et base simple (un huitième de la longueur de l'ancien tube) qui est compacte et efficace énergétiquement. Ses faibles dimensions ouvrent la porte à de nouvelles possibilités de conception. Ces tubes jumelés sont tous munis d'un condensateur intégré de correction de facteur de puissance. Un adaptateur spécial permet de les poser directement dans une douille à lampe à incandescence. C'est dire qu'on peut remplacer une lampe à incandescence de 60 watts par un tube jumelé de 10 watts qui peut durer dix fois plus longtemps.



1. Point froids
2. Soudure du pont
3. Électrodes
4. Coiffe d' aluminium
5. Amorceur
6. Lame bimétallique
7. Connexion électrique à deux fiches
8. Entaille de retenue
9. Condensateur
10. Enveloppe

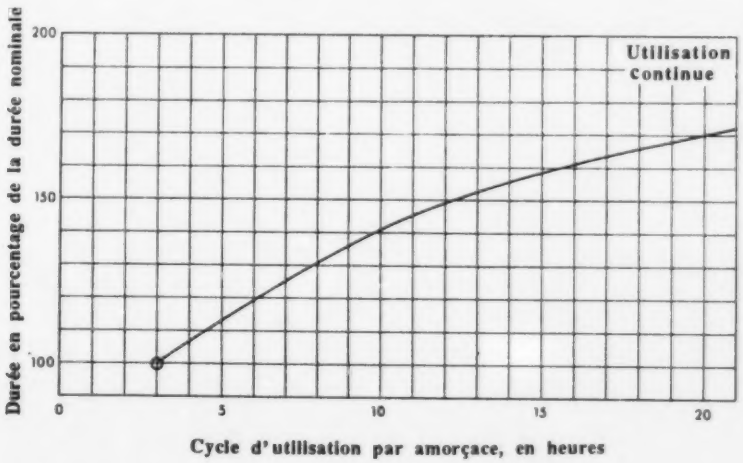
Lampes fluorescentes à tubes jumelés
Illustration 14

Durée des lampes fluorescentes

La durée des lampes fluorescentes dépend du nombre moyen d'heures d'utilisation chaque fois qu'on les allume (ill. 15). Les fourchettes figurant au Tableau 9 se fondent sur trois heures d'éclairage par amorçage. La durée nominale des lampes fluorescentes à préchauffage se situe à la partie inférieure de la gamme, à savoir entre 7500 et 9000 heures. Celle des lampes à amorçage instantané est de 12 000 heures et celles des lampes à allumage rapide, de 18 000 à 20 000 heures.

Pourcentage de dépréciation du flux lumineux des lampes fluorescentes

Sur l'ill. 15, la valeur du flux lumineux de 100 heures de la lampe fluorescente (appelée flux lumineux initial) et la dépréciation du flux lumineux se calculent à partir du point de 100 heures par la suite, en supposant 3 heures par amorçage. On parle souvent de deux facteurs de dépréciation de lumen. L'un est le pourcentage du nombre initial de lumens anticipé à 40 pour cent de la durée nominale, ce qui donne un nombre moyen de lumens entre les remplacements de lampes. L'autre est le pourcentage du nombre initial de lumens à 70 pour cent de la durée nominale; il donne le nombre minimal de lumens entre les remplacements de lampes et il sert à déterminer le nombre de luminaires nécessaires.



Durée des lampe fluorescentes
Illustration 15

Remplacement des lampes fluorescentes et des ballasts

Les lampes fluorescentes sont d'un usage tellement répandu que le programme d'économie d'énergie d'éclairage comporte ordinairement l'analyse des possibilités de les remplacer soit par des lampes fluorescentes ou des ballasts plus efficaces, soit par un type tout différent de lampe.

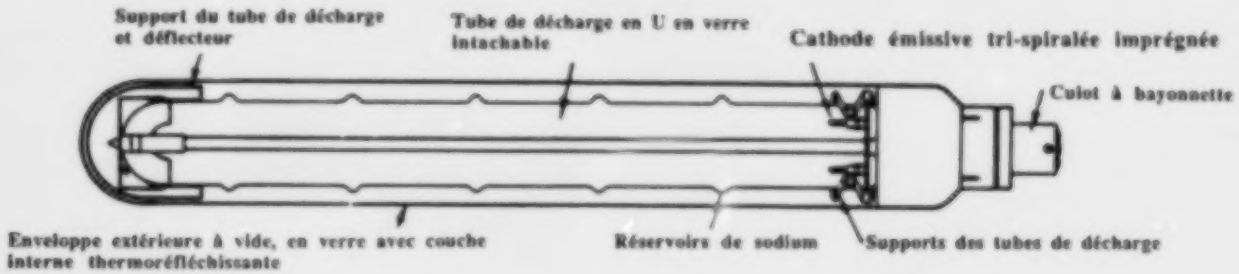
Le pseudo-tube ou tube fictif est un tube fluorescent de remplacement qui ne produit pas de lumière et qui réduit de moitié la charge d'électricité du ballast d'un luminaire à deux tubes. Pourquoi ne pas enlever tout simplement une des lampes? Cette formule comporte deux difficultés. D'abord, étant donné que le ballast est connecté en série, l'enlèvement d'une lampe entraîne l'extinction de l'autre. En deuxième lieu, le facteur de puissance d'origine de 0,96 tombe à 0,20. (Un faible facteur de puissance est une source de gaspillage d'énergie et la note d'électricité augmente.)

Le remplacement des lampes fluorescentes par des lampes à économie d'énergie peut se faire soit en remplaçant une lampe au besoin, soit par remplacement d'un groupe de lampes. Le remplacement par groupe comporte des économies de main-d'oeuvre; on l'examine de plus près dans la section des occasions favorables de gestion d'énergie.

Dans les appareils d'éclairage à deux lampes et ballast, les lampes de faible puissance ne doivent pas être utilisées avec des lampes ordinaires sur le même ballast. Le déséquilibre des tensions et des courants peut entraîner une défaillance prématurée.

Il faut s'entourer de précautions quand on installe des lampes de faible puissance sur des ballasts de plus de 15 ans. Ils peuvent faire défaut plus vite avec ces lampes.

Le remplacement des ballasts n'est généralement économique que lorsque les ballasts déjà installés doivent être remplacés. Une forte proportion des défaillances de ballast révèle que les ballasts déjà installés sont près de la fin de leur durée normale et qu'il faut les remplacer. La conversion des appareils d'éclairage fluorescent en lampes DHI nécessite le remplacement complet de la monture, du ballast et de la lampe. Il peut aussi être nécessaire de modifier la hauteur de montage.



Lampes à vapeur de sodium basse pression
Illustration 16

Lampes à vapeur de sodium à basse pression

Les lampes à vapeur de sodium à basse pression (ill. 16) se reconnaissent facilement à la lumière de couleur jaune verdâtre qu'elles émettent. Elles n'ont aucune propriété de rendement des couleurs. On n'y voit que des tons de gris avec toutes les couleurs sauf le jaune verdâtre. La durée nominale de toutes les lampes à vapeur de sodium basse pression est de 18 000 heures, la durée d'éclairage par amorçage étant de 5 heures. La durée du chauffage est de 7 à 15 minutes. Leur rallumage à chaud est satisfaisant et la plupart des lampes à vapeur de sodium basse pression se réamorcent immédiatement après une interruption du courant. Il n'y a pas de dépréciation du rendement lumineux pendant la durée utile de la lampe. Leur efficacité varie entre 137 et 183 lumens par watt selon la puissance. Les efficacités maximales comprenant les pertes de wattage des ballasts sont élevées; elles sont de l'ordre de 150 lumens par watt.

Les lampes à vapeur de sodium basse pression s'emploient là où le rendement des couleurs n'importe pas, comme dans les routes, les parcs de stationnement et les entrepôts.

Lampes à décharge de haute intensité (DHI)

L'expression décharge à haute intensité (DHI) s'applique à trois types distincts de lampes, soit les lampes à vapeur de mercure (VM), les lampes aux halogénures et les lampes à vapeur de sodium à haute pression.

Comme toutes les lampes à décharge, les lampes DHI produisent de la lumière par l'amorçage d'un arc entre deux électrodes. Cependant, dans les lampes DHI, les électrodes ne sont écartées que de quelques pouces. La longueur des tubes à arc varie de quelques centimètres pour l'éclairage général à seulement quelques millimètres pour les sources de grande brillance. Dans les lampes DHI, l'amorçage comporte l'établissement du trajet d'un courant de décharge au moyen d'une électrode adjacente d'amorçage jusqu'à ce que l'élévation de la température permette à la décharge principale de s'amorcer. Par conséquent, il faut aux lampes DHI d'une à sept minutes pour atteindre leur plein rendement de lumière après avoir été branchées. Si l'énergie d'alimentation de la lampe manque ou s'éteint, le tube à arc doit se refroidir avant que l'arc s'amorce de nouveau.

Lampes à vapeur de mercure (VM)

En augmentant la pression du tube fluorescent à vapeur de mercure basse pression à 1 ou 2 atmosphères, on obtient une décharge de vapeur de mercure qui émet directement une lumière visible. Dans ce cas, la radiation caractéristique ultraviolette (253,7 nm) du mercure est absorbée de nouveau et un tube nu émet seulement 5 pour cent de son énergie à l'entrée en ultraviolets. On emploie des phosphores mais, à la différence des phosphores des lampes fluorescentes, ils sont indispensables à l'absorption de la radiation ultraviolette à ondes longues et ils émettent de la lumière dans la région rouge orangé du spectre visible afin d'améliorer le rendement chromatique de la lampe.

Les lampes à vapeur de mercure haute pression (ill. 17) fonctionnent ordinairement avec un ballast mais, dans les lampes à la lumière mixte, un filament de tungstène connecté en série avec le tube à arc tient lieu de ballast ordinaire. Ces lampes à éclairage mixte constituent un rechange enfichable commode, utilisable avec le même appareil d'éclairage à lampe à incandescence et en quadruple la durée utile. Les principaux avantages des lampes à vapeur de mercure à lumière mixte sont la simplicité d'installation et la longueur de leur durée nominale. Elle se situe ordinairement entre 12 000 et 16 000 heures. Ces lampes ont un autre avantage: elles dissipent le besoin d'une mise de fonds d'achat de nouveaux appareils d'éclairage et d'équipement auxiliaire qui accompagnent généralement la transformation d'un système d'éclairage à incandescence en système d'éclairage à décharge à haute intensité.

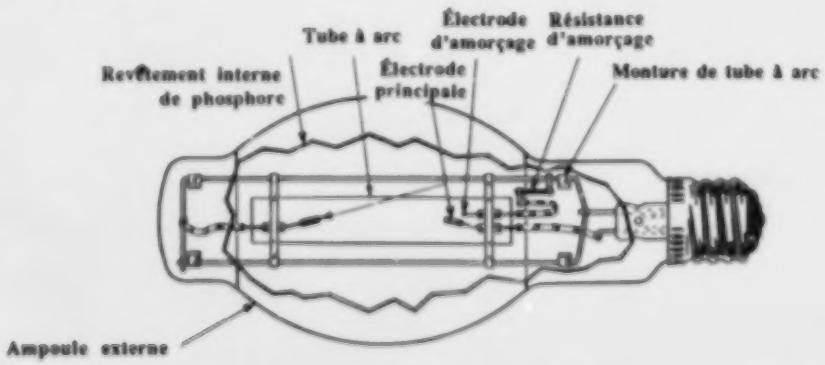
La durée nominale de la lampe à mercure de 24 000 heures n'est pas le point de survie à 50 pour cent; c'est plutôt le point où le rendement lumineux s'est abaissé à tel point que la lampe n'est plus économiquement viable.

On compte les lumens initiaux de toutes les lampes DHI et des lampes fluorescentes après 100 heures de fonctionnement parce qu'une lampe toute neuve contient des impuretés qui sont consumées pendant ces 100 premières heures. En raison de ces impuretés, une lampe toute neuve émet sensiblement moins de lumière.

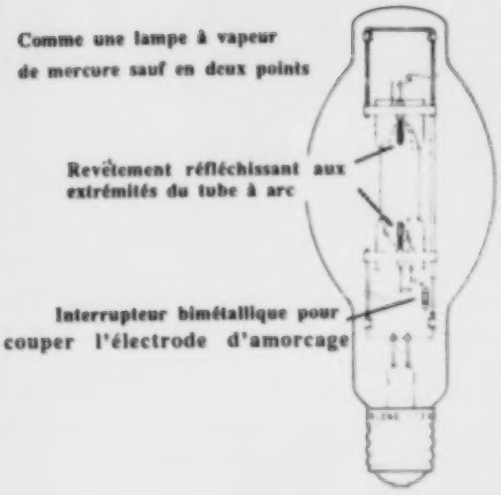
Les lampes à vapeur de mercure servent couramment à l'éclairage par projection des parcs de stationnement, dans les industries, à l'éclairage des rues et des autoroutes, des pièces à plafond élevé et des terminus de transport.

Lampes à halogénures

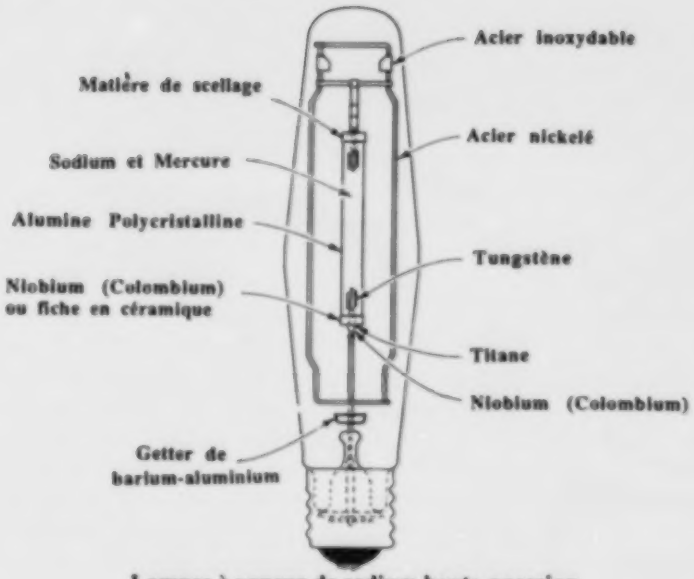
On s'est toujours intéressé à l'utilisation de métaux autres que le mercure dans les lampes à décharge pour en améliorer le rendement chromatique. Les lampes à vapeur de mercure donnent une lumière blanche jaune verdâtre privée de rouge et d'orangé. On applique des phosphores à l'intérieur de l'ampoule extérieure de verre pour en modifier les radiations ultraviolettes en lumière rouge visible. Toutes les tentatives de produire efficacement des radiations visibles par cette méthode ont achoppé à cause de difficultés techniques jusqu'à la découverte de la lampes aux halogénures en 1960.



Lampes à vapeur de mercure haute pression
Illustration 17



Lampes aux halogénures
Illustration 18



Lampes à vapeur de sodium haute pression
Illustration 19

Les lampes aux halogénures (ill. 18) ont une efficacité lumineuse élevée et un bon rendement de couleurs. Elles se substituent avantageusement aux lampes fluorescentes là où l'on préfère une source compacte. Leurs possibilités uniques ont débouché sur une augmentation des applications en éclairage d'ambiance là où elles peuvent être assombries à 40 pour cent sans changement de couleur. Les lampes à halogénures ont aussi une plus grande dépréciation de flux lumineux que les autres lampes DHI. C'est attribuable à la rupture de l'équilibre chimique des additifs aux halogénures à mesure que la lampe prend de l'âge.

Le programme de gestion de l'énergie d'éclairage a préconisé l'utilisation des lampes aux halogénures et des lampes à vapeur de sodium haute pression étant donné qu'elles sont les lampes les plus efficaces énergétiquement qui aient un bon rendement des couleurs. Elles servent couramment dans les films et la télévision couleur, à l'éclairage par projection des terrains de jeux, dans les lieux publics, les édifices commerciaux et industriels.

Lampes à vapeur de sodium à haute pression

Les lampes à vapeur de sodium à haute pression (ill. 19) fournissent un compromis favorable entre l'efficacité lumineuse et le rendement des couleurs. Ces lampes doivent servir dans des luminaires faits pour les recevoir pour atteindre leur température exacte de fonctionnement et optimiser de la sorte leur efficacité et leur durée (survie de 50 pour cent au-delà de 24 000 h). Les lampes à vapeur de sodium haute pression ont servi avec succès à l'éclairage intérieur des établissements de commerce. Elles donnent une impression de lumière blanche quand on sature les lieux de 1000 lux d'éclairement et qu'on utilise des couleurs rehaussées par le sodium haute pression.

On recommande l'utilisation de ces lampes dans un grand nombre de cas comme les grandes routes, l'éclairage par projection de grandes surfaces, les aéroports, les parcs de stationnement et les locaux intérieurs des établissements industriels et commerciaux.

Ballasts

S'il faut utiliser des ballasts pour amorcer ou faire fonctionner une lampe, les watts qu'ils dissipent doivent être imputés au système d'éclairage. Si par exemple une lampe fluorescente émet 3000 lm et consomme 40 W et si son ballast consomme 10 W, le rendement lampe/ballast figurerait comme 60 lm/W et non pas 75 lm/W.

Étant donné que la résistance d'une décharge gazeuse est négative, il faut toujours introduire un ballast muni d'un contrôleur limiteur de courant dans le circuit des lampes à décharge gazeuse. Il est à remarquer que les différents types de lampes fonctionnent avec des ballasts dont la conception leur est particulière. Par conséquent, les ballasts ne sont pas normalement interchangeables.

Fonctions des ballasts

Un ballast remplit six fonctions outre la fonction fondamentale de limitation du courant de l'arc à résistance négative. Il doit:

1. Fournir assez de tension pour amorcer l'arc.

2. Stabiliser le courant de la lampe contre les variations de la tension de ligne.
3. Rallumer la lampe à chaque demi-cycle de la tension alternative appliquée.
4. Minimiser les pertes d'énergie.
5. Établir la température appropriée de fonctionnement de la lampe.
6. Donner un facteur de puissance élevé.

Dans le cas des lampes branchées à une source de courant continu, une simple résistance raccordée en série peut servir de ballast. Si les lampes sont alimentées par du courant alternatif, le ballastage réactif évite les pertes d'énergie thermique dans la résistance.

Ballasts à grande efficacité énergétique

Étant donné qu'un ballast consomme 20 pour cent de l'énergie d'éclairage du système, on a mis au point des versions spéciales d'économie d'énergie du ballast magnétique classique afin de rivaliser avec les ballasts électroniques à grande efficacité qu'on trouve maintenant sur le marché. Tandis que le coût supérieur du ballast électronique ne justifie pas nécessairement les épargnes résultantes d'énergie (exemple: période du remboursement de 10 ans), les agencements composés de lampes et de ballasts qui contiennent certains éléments électroniques sont parfois des choix valables de conservation d'énergie (période de remboursement de 2 ans). On trouve sur le marché des ballasts qui ont les caractéristiques suivantes; on trouve aussi dans cette liste des réalisations techniques avec des ballasts électroniques à économie d'énergie:

1. Le ballast électronique à économie d'énergie fait fonctionner les lampes fluorescentes à 27 kHz et de ce fait, la lampe produit plus de lumens en consommant moins d'énergie. Observer qu'un ballast ordinaire fonctionne à la fréquence de la ligne d'énergie, 60 Hz.

2. Étant donné que le ballast utilise moins d'énergie, le ballast électronique à épargne d'énergie fonctionne à une température moins élevée, ce qui se traduit par une prolongation de sa durée. Sa durée anticipée est de 55 ans, en comptant une durée de fonctionnement de 4000 heures par an.

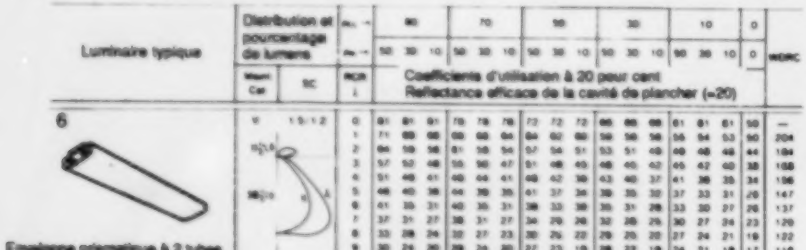
3. Le ballast électronique à économie d'énergie peut se substituer sans restrictions à un ballast classique.

4. Un simple réglage à la main de chaque ballast permet de façonner le rendement lumière aux besoins particuliers de la tâche.

5. La puissance de la lampe augmente automatiquement quand elle est assombrie, afin de ne pas compromettre la longue durée de la lampe.

6. Le ballast électronique à économie d'énergie peut servir dans un système de contrôle automatique d'énergie. Tel n'est pas le cas du ballast classique qui ne donne qu'une énergie de sortie fixe.

On a réalisé des progrès sensibles dans le développement des ballasts magnétiques des fluorescents à meilleure efficacité énergétique. Les ballasts de fluorescents à économie d'énergie utilisés avec des lampes standard peuvent réduire la consommation d'énergie d'éclairage de 9 pour cent ou moins, à cause de la diminution des pertes de puissance au sein du noyau d'acier du ballast et des enroulements de cuivre. La température de fonctionnement plus basse de ces ballasts donne une durée moyenne deux ou trois fois plus longue que la durée de 12 à 15 ans des ballasts ordinaires. En outre, il existe d'autres variantes de ballasts. Il s'agit de ballasts à rendement d'éclairage réduit qui atténuent la consommation d'éclairage et d'énergie, des ballasts à deux niveaux qui permettent de choisir entre un rendement d'éclairage complet ou réduit en changeant les connexions du ballast et des ballasts d'assombrissement qui s'emploient avec les lampes fluorescentes.



Coefficient d'utilisation (CU)
Illustration 20

Appareils d'éclairage

Les appareils d'éclairage ont un impact sensible tant sur l'efficacité énergétique que sur la qualité de l'éclairage. La caractéristique fondamentale distinctive d'un appareil d'éclairage est le pourcentage de la lumière qu'il réfléchit vers le plafond et vers la table de travail (ill. 20). Comme le souligne l'exposé précédent sur le coefficient d'utilisation, dans l'étude de l'efficacité du système d'éclairage, il est important d'utiliser un appareil d'éclairage efficace à grand coefficient d'utilisation qui dirige la plus grande partie de la lumière directement vers le bas sur la surface de la tâche. Le coefficient d'utilisation de l'appareil d'éclairage est approximativement inversement proportionnel à la probabilité de son confort visuel. Néanmoins, certains fabricants offrent des appareils d'éclairage de grande qualité qui procurent à la fois une grande efficacité et un bon contrôle de l'éblouissement. Ce sont là les appareils qu'il convient de spécifier.

Une autre considération dans le choix de l'appareil d'éclairage est sa résistance à l'accumulation de la poussière. On l'a dit précédemment, dans le calcul de la zone de cavité, le facteur de dépréciation par empoussiérage du luminaire à un effet sur le nombre de luminaires nécessaires à l'obtention de l'illumination horizontale moyenne proposée dans un endroit donné.

Appareils d'éclairage à lentilles et/ou volets

On peut toujours demander que les appareils d'éclairage commandés soient munis de lentilles ou de volets. Certains appareils sont faits pour servir sans écran ni dispositif de diffusion: ils s'installent d'ordinaire dans des endroits élevés en vue d'amoindrir l'éblouissement et la possibilité de bris de lampes.

Il convient de spécifier comme standard minimum de qualité que toutes les lentilles d'appareils d'éclairage soient faites de plastique d'acrylique vierge à 100 pour cent d'une durée utile de 15 à 20 ans. Dans les aires de travail non critiques, on peut obtenir une probabilité de confort visuel élevée avec des lentilles prismatiques teintées à un coût supplémentaire relativement modique. S'il s'agit d'aires de travail critiques, on recommande l'usage d'une lentille à grille plus dispendieuse, à réfringence énergétiquement efficace. Cette lentille à grand rendement assure un éclairage de bonne qualité qui peut atténuer la fatigue du travailleur, dans les salles de centrale d'ordinateurs, par exemple. Les lentilles et les grilles à volets servent à répartir la lumière en motifs particuliers et à influer directement sur la probabilité de confort visuel et le coefficient d'utilisation de l'appareil d'éclairage. Le Tableau 10 fait voir les caractéristiques importantes d'un luminaire fluorescent standard typique. On y trouve la gamme des probabilités de confort visuel et des pourcentages d'efficacité. Une lentille donnée produit des effets différents dans des appareils d'éclairage différents parce que la configuration de l'appareil et la nature de ses surfaces réfléchissantes exerce aussi une influence sur la répartition de la lumière.

Certains lentilles se prêtent particulièrement bien à l'éclairage des tâches en plan vertical parce qu'elles répartissent mieux la lumière verticalement que horizontalement.

On peut dire que la répartition de la lumière à encore plus d'importance à l'extérieur qu'à l'intérieur parce qu'il ne s'y trouve aucun mur ni plafond qui peut servir aux fins du contrôle. Il existe des lentilles spéciales qui s'utilisent dans les endroits exposés au vandalisme.

Appareils d'éclairage à aération dynamique

On peut tirer de nombreux avantages en faisant circuler l'air déplacé dans des compartiments de l'appareil d'éclairage.

1. L'efficacité lumineuse des lampes fluorescentes augmente de 25 pour cent. (Les lampes fluorescentes émettent un plus grand nombre de lumens aux basses températures: cependant, l'efficacité des lampes DHI ne varie pas du tout.)

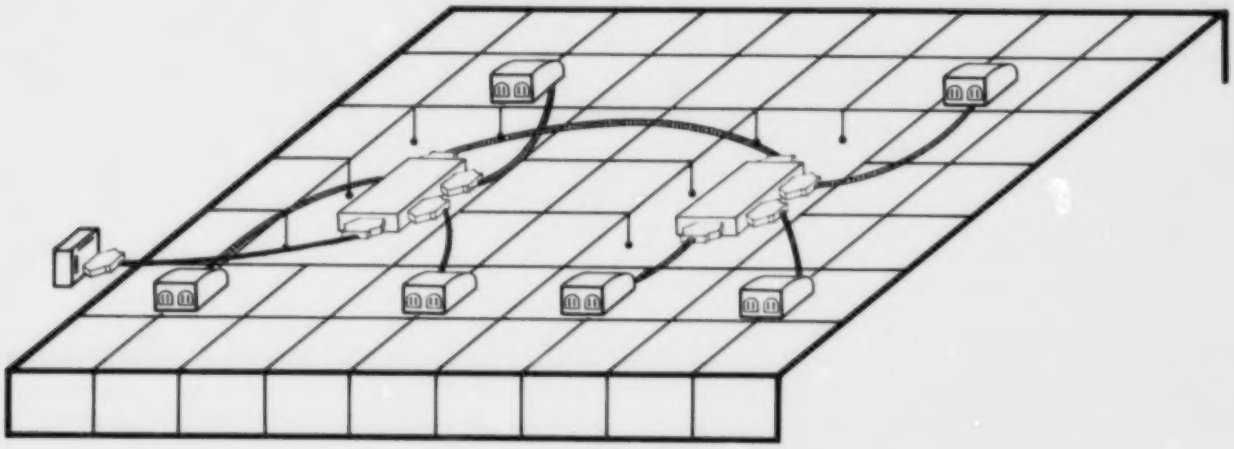
2. Tous les genres de lampes et de ballasts fonctionnent à des températures moins élevées et par conséquent, la durée de la lampe en est prolongée.

Systèmes de câblage modulaires d'éclairage

Dans la conception d'un nouveau bâtiment ou à l'occasion de travaux effectués après coup dans un bâtiment existant, il importe de considérer l'installation d'un système modulaire de câblage (ill. 21) en vue de l'éclairage par plafonniers. Ce système de câblage modulaire se substitue au système classique de câblage électrique par conducteurs et conduits. Il réduit de 50 pour cent le coût des changements d'aménagement et permet d'utiliser copieusement un éclairage de tâche énergétiquement efficace. On entend par là qu'il donne de la lumière de qualité en quantité voulue

seulement au voisinage immédiat, là où il en faut réellement, au lieu d'inonder toute la pièce de lumière pour satisfaire un plus grand besoin d'illumination de tout le secteur.

Étant donné que ces systèmes de câblage modulaire peuvent s'enlever facilement, on ne les considère pas comme éléments du bâtiment, mais plutôt comme biens mobiliers comme le reste de l'équipement de bureau et le mobilier. Comme tels, ils peuvent être l'objet d'un traitement fiscal favorable qu'il faut considérer soigneusement dans l'analyse des coûts/bénéfices.



Systèmes de câblage modulaires
Illustration 21

Contrôles de l'éclairage

Les contrôles de l'éclairage jouent un rôle primordial en économie d'énergie du système d'éclairage. Un simple interrupteur judicieusement placé peut être à la source d'épargnes importantes d'énergie. Les contrôleurs se partagent en deux grandes catégories fondamentales: les contrôleurs manuels et les contrôleurs automatiques.

Contrôleurs de tableau de distribution

Le réseau d'éclairage est alimenté par l'intermédiaire d'un tableau de distribution de service électrique. Par conséquent, il est toujours possible d'allumer ou d'éteindre l'éclairage en manoeuvrant le coupe- circuit approprié du tableau. Étant donné qu'aucun autre contrôle n'est nécessaire, on peut épargner le coût d'achat de l'équipement d'origine et du câblage.

Interrupteurs ordinaires au mur

Les interrupteurs à ressort installés en place permettent de choisir l'arrangement de l'éclairage. Il importe de choisir judicieusement l'emplacement de l'interrupteur; ce choix est dicté par le genre d'utilisation de la pièce.

Interrupteurs à clef

Les interrupteurs à clef empêchent les personnes non autorisées d'utiliser certains circuits d'éclairage; on en recommande l'usage pour les lampes DHI en particulier.

Contrôle d'illumination à niveaux multiples

Une aire donnée peut exiger différents niveaux d'illumination à différents moments. Exemple: un niveau élevé d'illumination peut s'imposer pendant les heures normales de bureau tandis que les travaux d'entretien du concierge peuvent s'accomplir à un faible niveau d'éclairage. Les contrôles doivent donc être disposés de manière à donner une illumination uniforme à tous les niveaux en allumant soit des appareils d'éclairage adjacents, soit des lampes

adjacentes. Dans les appareils d'éclairage fluorescent à quatre lampes, on peut éteindre les deux lampes intérieures alimentées par un ballast distinct à deux lampes pour obtenir un faible niveau uniforme d'éclairage.

Contrôleurs d'éclairage commandés par signalisation téléphonique

Des circuits de téléphone à tonalité et bouton-poussoir permettent de commander à distance des groupes distincts d'éclairage par téléphone. L'utilisateur compose le numéro de téléphone du dispositif de contrôle et quand il entend un bip, il compose un code qui actionne la télécommande du réseau d'éclairage.

Système d'allumage à basse tension

Un système d'allumage à basse tension (24 V ou moins) se compose de relais, de contacteurs et de transformateurs. Quand on manoeuvre un contacteur, une <<instruction>> à faible tension est acheminée vers un relais qui, à son tour, allume les lampes. Ces relais peuvent aussi se brancher à des entrées en tiers.

Gradateurs de lumière à état solide

Les gradateurs à état solide amenuisent la consommation d'énergie quand l'éclairage est assombri, au contraire des gradateurs à rhéostat qui dissipent de l'énergie par perte de chaleur. Certains gradateurs fonctionnent avec des ballasts ordinaires tandis que d'autres doivent fonctionner de pair avec un ballast spécial de gradation.

Systèmes d'allumage par ballast chargé

Il existe aussi des contrôleurs qui acheminent des signaux de contrôle par les circuits existants d'éclairage, en particulier de 30 à 52 kHz.

Allumage fort-faible

Au lieu d'une gamme progressive de gradations qu'on obtient au moyen de gradateurs de contrôle, on peut recourir à l'allumage par ballast alterné fort-faible qui ne donne que deux niveaux d'éclairage, le niveau total et le demi-niveau. C'est une formule d'économie d'énergie; à titre d'exemple, l'entretien peut s'effectuer en n'utilisant que la moitié de l'éclairage normal.

L'allumage fort-faible se réalise en câblant les tubes extérieurs d'un appareil d'éclairage à tubes au contacteur <<Hi>> et les tubes intérieurs au contacteur <<Lo>> (normalement, le contacteur le plus rapproché du chambranle de la porte). Quand on manoeuvre seulement le contacteur Lo, on réalise une économie d'énergie de 50 pour cent et on obtient une réduction de 47 pour cent du rendement d'éclairage parce que l'éclairage produit par les tubes intérieurs du luminaire est plus efficace que celui des tubes extérieurs. Dans certaines conceptions élaborées d'éclairage de bureau, chaque appareil est muni d'un dispositif d'allumage fort-faible qui permet à l'occupant d'adapter l'éclairage aux besoins individuels et par conséquent, de réaliser une économie d'énergie.

Le coût d'utilisation du fort-faible comprend le coût initial du câblage supplémentaire. S'il s'agit d'une nouvelle installation, il faut passer deux fils au lieu d'un. Les frais d'installation après coup sont souvent assez élevés.

Interrupteurs à minuterie

Les interrupteurs à minuterie servent énormément à l'allumage des appareils d'éclairage extérieur et intérieur à un moment déterminé à l'avance. Un cadran astronomique solidaire de l'interrupteur à minuterie règle le contrôleur de changement d'heure de la lumière du jour et de l'obscurité pendant toute l'année. Plusieurs de ces appareils sont munis d'une batterie ou d'un mécanisme à ressort qui maintient le réglage indépendamment des interruptions du secteur. La plupart sont programmables pour une semaine.

Cellules photoélectriques

Les cellules photoélectriques réagissent aux intensités de l'éclairage ambiant. Leur usage à l'extérieur est déjà très répandu et on les utilise de plus en plus à l'intérieur pour contrôler les lampes à proximité des fenêtres et des puits de lumière.

Capteurs d'occupation

Le décèlement de la présence de personnes aux fins de contrôle de l'éclairage s'effectue de trois manières différentes: au moyen de contrôleurs ultrasoniques déclenchés par un mouvement physique, de contrôleurs à infrarouges sensibilisés par l'énergie thermique émanant des personnes présentes et de contrôleurs acoustiques mis

en marche par le son en-deça d'une gamme donnée de fréquences limitées aux activités humaines.

Système de contrôle automatique de l'énergie

Le rendement lumineux d'une lampe diminue graduellement pendant sa durée utile. On l'a dit précédemment, ce facteur entre en ligne de compte lors de la détermination du facteur de perte de lumière (FPL). En somme, le nombre initial de lumens d'un système neuf est supérieur aux exigences étant donné qu'on a fait la part des pertes de lumière à mesure que le temps passe. (La conception ordinaire des systèmes se fonde sur le rendement de la lampe à 70 pour cent de sa durée nominale.) Un système de contrôle automatique d'énergie mesure le rendement lumineux et assombrit la lampe pour ne donner que le niveau exigé d'illumination et de la sorte, il épargne de l'énergie. Grâce à ce système, on peut se servir des lampes jusqu'à la fin de leur cycle d'utilisation, ce qui se reflète sur les coûts d'entretien.

Éclairage de secours d'appoint

Éclairage fluorescent

Une formule énergétiquement efficace d'assurer l'éclairage d'urgence d'appoint dans les installations d'éclairage fluorescent consiste à utiliser des bancs de batteries à inverseur-rectificateur intégré à l'appareil d'éclairage. Ces dispositifs ne se vendent pas directement au consommateur par les grands fabricants d'appareils d'éclairage mais plutôt, par les fabricants d'équipement d'éclairage d'origine.

Décharge à haute intensité (DHI)

La formule énergétiquement efficace qu'on préconise dans le cas d'installations d'éclairage à décharge à haute intensité consiste à utiliser un convertisseur-redresseur central semblable à un système d'alimentation sans coupure. A la différence de ce système, cependant, le système convertisseur-redresseur tolère une coupure temporaire de courant quand le service du secteur est interrompu. Néanmoins, la puissance restreinte du banc de batteries du convertisseur-redresseur garde les lampes d'urgence allumées et ce dispositif coûte moins cher par watt qu'un système d'alimentation sans coupure.

(S'il arrive que les lampes s'éteignent, le ramorçage se produit après une durée de refroidissement de 10 minutes. En outre, il faut encore de 8 à 10 minutes pour que les lampes atteignent leur pleine intensité. Ces deux interruptions compromettent la sécurité des occupants de l'édifice. Observer aussi que l'éclairage DHI est souvent allumé par un interrupteur à clef qui prévient les fermetures accidentelles.)

Un autre dispositif de secours énergétiquement efficace de l'éclairage DHI consiste à intercaler des lampes fluorescentes d'urgence qui peuvent fournir une illumination de faible niveau.

Équipement d'éclairage extérieur

Suit une liste de recommandations visant à augmenter l'efficacité énergétique des installations d'éclairage.

1. L'utilisation de lampes fluorescentes ordinaires de 40 watts avec un appareil à ballast de 2 lampes de préférence à l'utilisation de deux lampes distinctes de 40 watts assure une épargne d'énergie de 17,4 pour cent. Afin d'obtenir les 28 860 heures de leur durée nominale (à raison de 10 heures de consommation par amorçage), il ne faut pas spécifier de lampes à très grand rendement car elles peuvent entraîner un accroissement des coûts d'installation et d'entretien (cycle de durée).

2. L'utilisation de plastique ou de fibre de verre dans la fabrication des montures d'appareils d'éclairage peut constituer la meilleure défence contre la dépréciation du luminaire par empoussiérage; c'est une considération primordiale dans les installations à l'extérieur. En outre, les montures d'appareils d'éclairage de plastique peuvent dissiper les risques de choc électrique.

3. On recommande d'utiliser dans les appareils d'éclairage des lentilles d'acrylique pur. Le soleil a tendance à faire jaunir en deux ou trois ans les lentilles bon marché de polystyrène; il en résulte une diminution de la transmission de la lumière qu'il faut compenser ailleurs dans le système à un coût plus élevé.

4. L'utilisation de lentilles enveloppantes à garniture qui renferment les lampes et d'un ballast de -18 degrés C. Quand il est emboîté. ce ballast de -18 degrés C fonctionne même aux températures les plus froides. Il peut dissiper le besoin de recourir à un ballast de -29 degrés C plus dispendieux. L'enceinte à garniture peut aussi empêcher la réduction de l'efficacité de la lampe à des niveaux inaccceptables à cause de la température inappropriée d'utilisation

de la lampe.

Les recommandations suivantes peuvent améliorer l'efficacité énergétique des installations d'éclairage des parcs de stationnement et des cours d'usine.

1. Ilvaut mieux utiliser des lampes translucides que des lampes enrobées de phosphore. Elles donnent un meilleur contrôle optique et une répartition plus efficace de la lumière.

2. Des poteaux de lampe d'éclairage plus hauts permettent d'utiliser des lampes plus puissantes et plus efficaces. En outre, le nombre de poteaux nécessaires en est diminué.

3. Choisir un luminaire qui oriente la lumière vers le bas. Cette formule contrôle l'éblouissement et l'étalement de la lumière. Dans les parcs de stationnement, il est opportun de tenir compte de la tâche visuelle qui consiste à trouver le trou de la serrure.

4. L'insuffisance de rendement des couleurs d'une lampe à vapeur de sodium haute pression pourrait compliquer inutilement l'identification des voitures, tâche visuelle courante dans un parc de stationnement.

5. Prévoir la fermeture de l'éclairage en temps opportun le jour (exemple: cadran astronomique et minuterie qui tiennent compte automatiquement des changements saisonniers et des heures d'éclairage naturel ou interrupteurs photoélectriques).

Éclairage de sûreté

L'éclairage des périmètres clôturés et gardés comporte la nécessité d'orienter le luminaire dans la direction opposée à celle de l'endroit gardé et directement vers le terrain environnant. Dans ce cas, la conservation de l'énergie exigerait probablement de considérer un système d'éclairage d'appoint qui serait à la hauteur en cas d'interruption du courant du secteur.

L'éclairage nocturne typique comporte la nécessité d'envisager trois facteurs importants:

1. Assurer l'éclairage des sorties d'urgence.
2. Donner un aspect engageant et agréable esthétiquement à l'extérieur du bâtiment.
3. Contrer le vandalisme.

En sus de l'installation d'éclairage standard aux sorties, que les règlements exigent souvent, un moyen efficace de satisfaire les deuxième et troisième exigences précitées tout en épargnant de l'énergie consiste à baigner les murs extérieurs de lumière au moyen d'un luminaire à grande répartition, orienté vers les bâtiments,. Les maraudeurs sont faciles à déceler par leur silhouette. La même formule sert à établir des sentiers sûrs et protégés à un niveau d'énergie de 0,014 W/m^2.

POSSIBILITÉS DE GESTION DE L'ÉNERGIE

On entend par occasion favorable d'économie d'énergie l'identification de diverses occasions d'améliorer l'efficacité énergétique qui débouche sur une diminution des coûts d'exploitation.

Aux fins du présent module, la section sur les occasions favorables d'économie d'énergie se partage en trois catégories : Occasions dans le milieu, Occasions à bon compte et Occasions d'améliorations après coup. Cette section comporte aussi des exemples de calculs détaillés aptes à aider le lecteur dans ses travaux d'application des formules d'économie d'énergie. Ce n'est pas une liste complète des occasions favorables d'économie d'énergie applicables à tous les systèmes d'éclairage. Ce texte a pour but d'inspirer les cadres, le personnel d'exploitation et d'entretien chargés de développer et d'appliquer les programmes d'économie d'énergie.

Occasions favorables dans le milieu

Les occasions favorables dans le milieu sont les occasions d'économie d'énergie qui se présentent à intervalles réguliers et jamais moins souvent qu'une fois par année. Les interventions suivantes sont des occasions favorables d'économie d'énergie dans le milieu :

1. Amorcer un système de conservation des archives. Il sert de base aux décisions judicieuses en gestion d'énergie. Ce système doit consigner les niveaux d'éclairage recommandés pour chaque secteur, les niveaux d'éclairage mesurés en place, la puissance d'éclairage en place et toutes les observations touchant l'état actuel de l'installation d'éclairage. Cette présentation forme la masse de renseignements à partir desquels il est possible de planifier d'éventuelles améliorations.

2. Abaisser les niveaux d'éclairage. Le système d'archives peut révéler la présence de secteurs surabondamment éclairés. La diminution de l'illumination aux niveaux recommandés est manifestement la première mesure à adopter dans le milieu. Une autre disposition souvent possible consiste à profiter de l'augmentation de la lumière du jour filtrant par les fenêtres pendant les mois d'été. Il est possible d'éteindre certains appareils d'éclairage pendant les mois d'été tandis qu'on peut conserver à un endroit donné les niveaux d'éclairage recommandés.

3. Modifier les modes d'utilisation. Exemple : adopter un plan d'extinction des lampes quand les locaux sont évacués. Encore ici, de bons dossiers peuvent aider à cerner les occasions opportunes d'économie d'énergie. Étant donné que le nombre de cycles d'amorçage des lampes peut en altérer la durée, tenir compte des données du fabricant pour calculer les avantages économiques des périodes planifiées d'extinction.

4. Affiner le programme d'entretien du système d'éclairage. La déchéance du système d'éclairage résulte de divers facteurs : température et tension d'utilisation des lampes, dépréciation du flux lumineux, détérioration des surfaces des luminaires, grillage des lampes, accumulation de poussière sur les luminaires et surfaces des pièces. Un programme complet d'entretien d'éclairage peut influer sur un ou tous les facteurs entrant en ligne de compte dans la déchéance du système d'éclairage.

Exemples calculés d'économies dans le milieu

1. Établissement de dossiers

Le programme d'économie d'énergie d'éclairage commence par un examen de l'éclairage comme on le souligne dans la feuille de travail no 1. Ce programme est une des préoccupations constantes de la direction et le meilleur moyen d'en vérifier l'efficacité est d'établir une documentation et un dossier appropriés.

Consulter l'ill. 22 pour compléter le spécimen de feuille de travail. La pièce dont il s'agit est un bureau et centre d'ordinateurs contenant des tables de travail et de l'équipement d'ordinateurs où travaillent cinq personnes à plein temps.

En se rapportant au Tableau 7 d'éclairement recommandé, on s'arrête à la catégorie d'éclairement E, compte

Plan de bureau et centre d'ordinateurs
Illustration 22

tenu des observations suivantes:

1. Il se trouve dans ce bureau un écran à TRC à éclairement interne (catégorie B).
2. Le bureau est muni d'une table éclairante (catégorie E).
3. Des imprimantes à impact fonctionnent dans ce bureau (catégorie D et E).
4. Une tâche courante dans ce bureau est la lecture de clavier (catégorie D).

D'après les considérations précitées, les tâches visuelles normalement accomplies dans cette pièce échantillon peuvent l'être avec un éclairement de la catégorie E.

Les facteurs de pondération déterminés d'après le Tableau 8 seraient:

1. Certains travailleurs ont plus de 55 ans	1
2. Importance de la vitesse et de la précision	0
3. Réflectance de l'arrière-plan de la tâche supérieure à 70%	-1
Facteur total de pondération	0

De ce qui précède, on peut préciser que le niveau recommandé d'éclairement est de 750 lx. Les mesures prises sur place à différents endroits de la pièce ont donné des valeurs de l'ordre de 300 lx (à proximité de quelques classeurs gris foncés) jusqu'à 600 lx. Cette pièce est donc sous-éclairée pour les tâches visuelles plus exigeantes qui pourraient peut-être surgir. Il faudrait suppléer avec des appareils d'éclairage portatifs pour effectuer des tâches dans les secteurs moins éclairés.

Pour appliquer le processus DEU servant au calcul du budget d'énergie d'éclairage de la pièce, on peut la partager en trois éléments rectangulaires, A, B et C, comme on le voit dans l'ill. 22. Dans le calcul de l'énergie connectée, noter que chaque appareil d'éclairage contient deux lampes fluorescentes de 40 W et un ballast qui dissipe 12 W, ce qui donne un total de 92 W par appareil. L'établissement du budget d'énergie de la pièce se fonde sur la feuille de travail no 2 des exigences d'énergie du système d'éclairage.

Budget d'énergie de l'aire A
= DEU du Tableau x aire x FP x FUP
= 23,68 x 18,59 x 11,73 x 1,1 x 1
= 5 680 W

Budget d'énergie de l'aire B
= DEU du Tableau x aire x FP x FUP
= 23,68, 3,96 x 7,62 x 1,40 x 1
= 1000 W

Budget d'énergie de l'aire C
= DEU du Tableau x aire x FP x FUP
= 23,68 x 3,66 x 5,94 x 1,42 x 1
= 731 W

La valeur de la DEU de 23,68 W/m^2 tirée du Tableau 3 s'applique aux aires de dactylographie et lecture qui représentent les tâches visuelles accomplies dans cette aire.

Les résultats de DEU s'établissent comme suit:

Aire	Puissance (W)	
	au budget	**connectée**
A	5680	4692
B	1000	694
C	731	552

Dans cette pièce, l'éblouissement constitue une difficulté. Étant donné que le plafond est encombré de tuyaux, de canalisations et de chemins de câbles, les appareils d'éclairage sont accrochés à diverses hauteurs à compter du plancher. Ces appareils sont tout simplement coiffés de réflecteurs d'émail vitrifié sans déflecteurs, volets ni diffuseurs. Il arrive souvent que le champ visuel des travailleurs soit gêné par les tubes fluorescents nus. D'après ce scénario, l'idéal serait d'installer quelques écrans, du moins sur les appareils les plus près de la porte, qui seraient les plus exposés à empiéter dans le champ visuel des travailleurs. Il arrive très rarement, dans la préparation d'un inventaire d'éclairage, qu'on rencontre une surface absolument uniforme. Le lecteur se rappellera que les calculs de zones de cavité se fondent sur cette hypothèse. Donc, pour obtenir des résultats précis, il faut recourir à une moyenne pondérée dans le calcul des réflectances superficielles. Il faudrait utiliser une autre feuille de travail montrant toutes les composantes de la réflectance superficielle moyenne pour simplifier la mise à jour et les renvois.

2. Diminution des niveaux d'éclairement

Selon les standard modernes, nombre d'établissements seraient éclairés surabondamment. Cette difficulté est vite corrigée en débranchant les lampes et les ballasts des aires trop illuminées. Dans de nombreux cas, le personnel compétent de la maison peut enlever sans danger les lampes fluorescentes et les lampes à incandescence superflues.

De façon générale, les lampes fluorescentes sont branchées deux à deux en série. Si l'on enlève une paire de

lampes, l'autre paire ne s'amorce pas à cause de la façon dont le ballast et le condensateur sont connectés. De toute façon, il faut enlever les deux lampes. Retenir que le facteur de puissance typique d'un ballast à deux lampes qui fonctionne avec une seule est de 0,27. En outre, il faut aussi débrancher le ballast lui-même, étant donné qu'il continue de dissiper de 7 à 10 W, même sans lampe. Les appareils d'éclairage à incandescence n'ont pas de ballast, bien entendu, et ne consomment aucune énergie quand les lampes n'y sont pas. D'ailleurs, il peut s'avérer inutile de les enlever si elles sont raccordées à des interrupteurs. Les épargnes de coûts d'énergie sont directement proportionnelles au total du wattage enlevé.

Épargne de coûts = Réduction de la puissance d'éclairage x heures d'éclairage x tarif

Exemple: On peut réaliser une réduction du niveau d'éclairage de 20% en déconnectant 73 des 294 luminaires à 2 tubes fluorescents de 4 pieds consommant chacun 92 W. Pour établir l'épargne annuelle, supposons une utilisation de 5 jours par semaine, 10 heures par jour, à raison de 0,06$/kWh.

$$\text{Épargne de coûts} = 92 \times 73 \times 52 \times 10 \times 5 \times \frac{0{,}06\$}{1000} = 1047.70\$$$

Diminution de l'éclairage de jour

Les mesures sur place peuvent révéler des occasions favorables de corrections saisonnières des réglages des interrupteurs d'éclairage.

Épargne de coût = diminutions des heures d'éclairage x wattage en cause x tarif

Exemple: il s'agit d'un bureau dont un mur est composé de fenêtres. Des mesures au photomètre révèlent qu'un tiers des lampes peuvent être éteintes pendant 5 heures au cours des mois d'hiver, 10 heures au cours de l'été et 7 heures pendant les mois de printemps et d'automne. La charge totale d'éclairage est de 5 kW. Calculer les épargnes annuelles d'énergie à raison de 0,06$/kWh.

$$\text{Épargne annuelle} = W \times \text{heures/an} \times \$/Wh$$
$$= 1/3 \times 5000 \times (365 \div 4) \times (5 + 10 + 7 + 7) \times \frac{(0{,}06\$)}{1000}$$
$$= 0.33 \times 5000 \times 91{,}25 \times 29 \times \frac{0{,}06\$}{1000}$$
$$= 262\$ \text{ par an}$$

3. Modification des modes d'utilisation

Imaginer une stratégie d'allumage et d'extinction des lampes. Cette formule a le double avantage d'être adaptable aux aires distinctes et de s'appliquer à volonté et à bon compte. L'élément indispensable de ce plan est la préparation d'un programme d'éclairage approprié au mode de travail des occupants. Il importe d'affecter et d'habituer le personnel à utiliser efficacement l'éclairage et à l'en tenir responsable au moyen d'un programme établi.

Il importe aussi de définir convenablement la nature exacte des durées d'occupation et des tâches pour chaque période et déterminer la quantité d'éclairage nécessaire à l'accomplissement des tâches en question. Il faut aussi prévoir la quantité d'éclairage nécessaire aux besoins de la sûreté et de la sécurité. Ensuite, on donne des instructions détaillées sur le fonctionnement de l'éclairage aux employés responsables; elles sont sous forme de tableaux, d'affiches ou de codes de couleur des interrupteurs. Afficher près de chaque interrupteur d'éclairage un tableau des appareils d'éclairage commandés par cet interrupteur. C'est une façon d'inciter l'utilisateur à faire un choix quand il allume les lumières et de réduire les tâtonnements qui dissipent de l'énergie et usent l'équipement d'éclairage.

Considérations sur les fermetures à court terme

Dans la plupart des cas, l'allumage et l'extinction des lampes à un effet nocif sur la durée de la lampe. D'autres part, on économise de l'énergie pendant les heures d'extinction. Néanmoins, il existe un point d'équilibre entre ces deux cas: on applique parfois la règle suivante:

Durée minimale d'extinction (minutes)	Genre de lampe
0	à incandescence
15	fluorescente
60	à décharge à haute pression

Le calcul suivant fournit une méthode plus précise de comparaison entre les accroissements attribuables à un plus grand nombre de cycles d'allumage et la diminution de coûts d'utilisation.

Méthode d'extinction de courte durée

Premier cas - Extinction de courte durée

Les coûts servant à la comparaison (CS) sont ceux de la lampe et ceux de l'énergie électrique pour une journée de fonctionnement:

$$CS = (C + HS + OC/T) \times (tD - tS)$$

où:

CS représente les coûts de la lampe et de l'électricité pendant une journée de fonctionnement et d'extinction alternés

C le coût des lampes du système

HS la durée écourtée de la lampe à cause du surcroît de cycles d'allumage en heures

OC/T le coût d'utilisation (c'est-à-dire le coût de l'énergie électrique par heure)

tD la durée normale d'utilisation continue mesurée en heures

tS la durée de fermeture en heures

Encore ici, les coûts de comparaison (CD) sont ceux de la lampe et de l'électricité pour une journée de fonctionnement:

$$CD = (C + HD + OC/T) \times tD$$

où:

CD représente les coûts de la lampe et de l'énergie électrique pour une journée sans extinction

C le coût des lampes du système

HD la durée actuelle de la lampe mesurée en heures

OC/T le coût d'utilisation (c'est-à-dire le coût de l'énergie électrique par heure)

tD la durée normale d'utilisation continue mesurée en heures

Exemple calculé d'extinction de courte durée

Le système d'éclairage d'un bureau se compose de 18 luminaires fluorescents (dont chacun comprend deux tubes fluorescents de 40 watts) qui fonctionnent tous les jours pendant deux relèves.

Première relève, de 8 h à 16 h

Deuxième relève, de 18 h à 2 h

Comme le bureau est inoccupé entre 16 h et 18 h tous les jours de la semaine, la direction veut analyser les possibilités d'extinction de courte durée.

Le coût d'utilisation par heure (basé sur un tarif d'électricité de 0,06$/kWh) est de

$$OC/T = W \times \text{heures} \times \$/Wh$$
$$= 18 \times 2 \times 40 \times 16 \times 0{,}06\$/1000$$
$$= 1{,}38\$/h$$

tD est la durée comprise entre le début de la première relève et la fin de la deuxième, soit 18 heures.

tS est la durée proposée d'extinction entre les relèves, soit 2 heures.
Les feuilles de données du manufacturier révèlent que:

HD = 28 000 heures et
HS = 24 000 heures

A 12$ par lampe, le coût des lampes se calcule comme suit:

C = $/lampe x lampes/luminaire x nombre de luminaires = 12$ x 2 x 18
= 432$

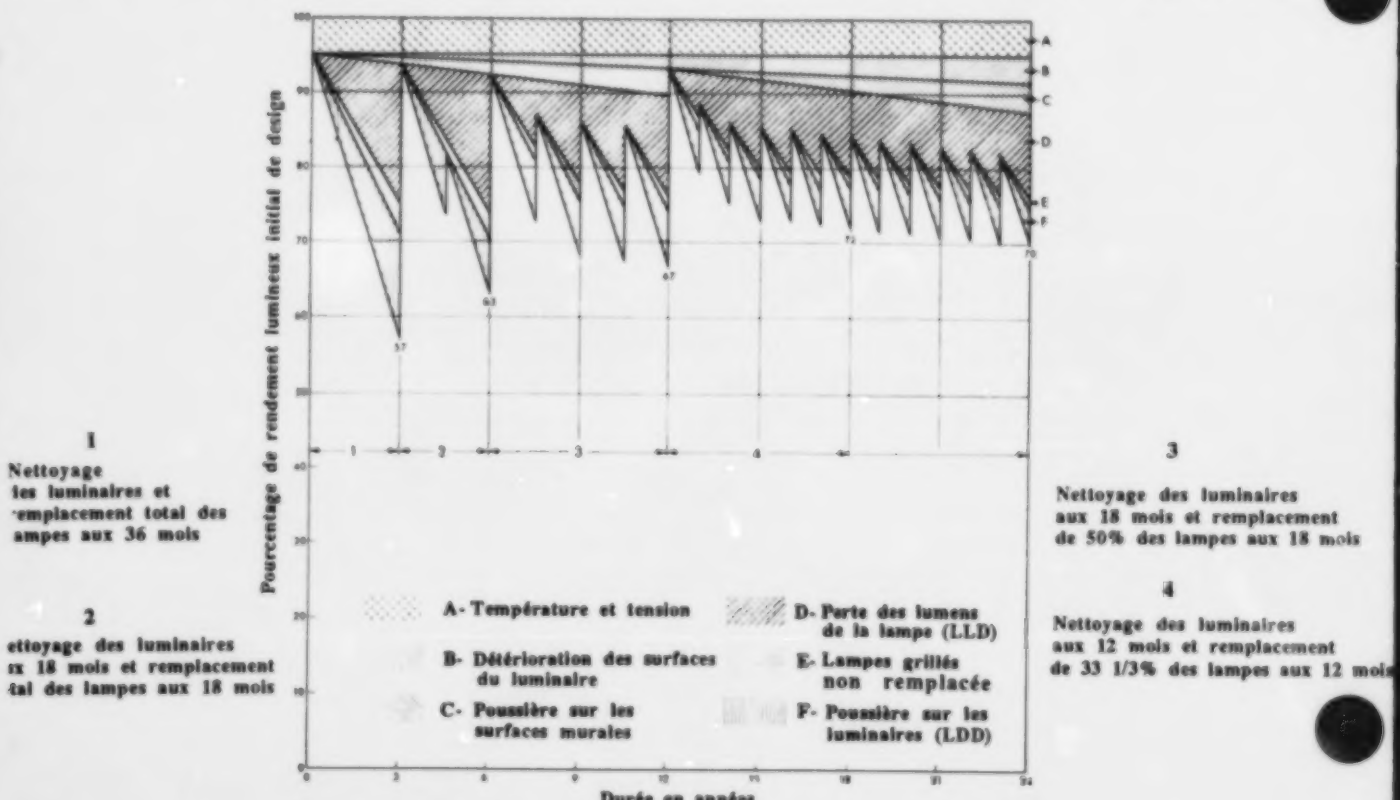
Les coûts de comparaison seraient donc:

CS = (C + HS + OC/T) x (tD - tS)
= (132 + 24 000 + 1,3824) x (18 - 2)
= (1,4004) x (16)
= 22,41$

CD = (C + HD + OC/T) x tD
= (432 + 28 000 + 1.3824) x 18
= (1,3978) x 18
= 25,16$
On peut donc conclure qu'on épargnerait environ 3$ par jour en éteignant les lampes entre les relèves.

4. Affinement du programme d'entretien de l'éclairage

Si le programme d'entretien d'éclairage de l'édifice comporte le lavage et le nettoyage des lampes, des luminaires et des surfaces murales à intervalles rapprochés, on peut amenuiser la charge d'éclairage et par conséquent, épargner de l'énergie. La propreté des lampes et des luminaires donne plus de lumière et moins de chaleur. Cette mesure d'augmentation de l'efficacité prolonge aussi la durée de la lampe. En outre, les surfaces intérieures propres absorbent moins de lumière. L'ill. 23 compare le rendement de la lumière en fonction du temps selon quatre plans



Comparaison de l'éclairage par rapport à quatre programmes d'entretien
Illustration 23

possibles d'entretien.

La déchéance du rendement de l'éclairage attribuable à la température et à la tension peut se corriger par des méthodes d'entretien d'éclairage. C'est pourquoi on parle de parties irrécupérables du facteur de perte totale de lumière. Les variations de température au-dessus et en-dessous des températures normales des pièces ont peu d'effet sur le rendement de l'éclairage des lampes à incandescence et des lampes DHI mais il en est autrement des lampes fluorescentes. Les hausses et les chutes de tension modifient le rendement d'éclairement de la plupart des lampes.

Exemple: on peut établir une comparaison avec une aire d'usine typique de 930 m2. La consommation annuelle d'énergie d'éclairage pendant une durée de deux relèves d'usine et mesurée à 50 décalux, quand le nettoyage s'effectue régulièrement serait de 61 000 kWh. Si l'on omet le nettoyage, la consommation serait de 88 000 kWh. Les épargnes possibles annuelles d'énergie d'éclairage seraient donc de 27 000 kWh, soit 1620$, en se basant sur un tarif d'électricité de 0,06$/kWh.

Compte tenu du coût de la main-d'oeuvre, il peut être plus efficace économiquement de combiner le nettoyage avec le remplacement des lampes.

Calcul du nombre de luminaires nécessaires dans une pièce

Le calcul d'éclairage élémentaire qui suit permettra au lecteur de prendre connaissance des facteurs nécesaires à l'évaluation et à la modification d'un éclairage existant qui pourrait ne plus convenir ou ne plus être énergétiquement efficace. Ces facteurs comprennent les dimensions (longueur, largeur et hauteur) de l'espace à éclairer, la réflectance des surfaces considérées, le type de luminaire, le niveau d'illumination, le taux de grillage des lampes, la perte graduelle de puissance de la lampe et l'accumulation de la poussière sur les lampes, les luminaires et dans la pièce.

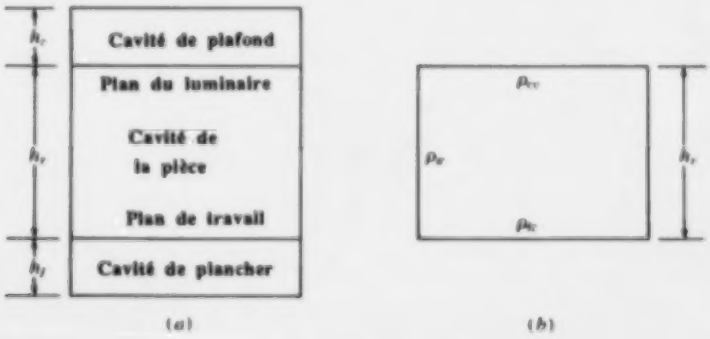
Depuis 1964, l'Illuminating Engineering Society recommande la <<méthode de cavité de zone>> pour évaluer l'éclairage intérieur. Dans ce cas, il s'agit d'illuminer le plan de l'horizontale (plan de travail) à 0,76 m du plancher avec la quantité de lumens voulue. Cette méthode tient compte de la réflectance des surfaces en modifiant une réflectance de cavité en une réflectance superficielle efficace équivalente. La réflectance optimale de la cavité représente un rapport entre le flux total de l'ouverture de cavité et le flux total à l'intérieur de l'ouverture. L'illustration 24 donne un exemple de cavités de plafond et de plancher, devenant chacune une réflectance superficielle équivalente unique. L'illustration 24 identifie trois cavités:

1. *La cavité du plafond*. Elle s'étend du plan du luminaire jusqu'au plafond. Si les luminaires sont de niveau avec le plafond, la réflectance superficielle équivalente du plafond est zéro.

2. *La cavité de la pièce*. Elle s'étend du plan du luminaire jusqu'au plan de travail.

3. *La cavité du plancher*. Elle s'étend du plan de travail jusqu'au plancher.

Exemple: Considérons une salle de formation mesurant 13,7 x 6,1 x 3 m. Les réflectances superficielles sont: 80 pour cent pour le plafond, 50 pour cent pour les murs et 30 pour cent pour le plancher. Il s'agit de calculer avec exactitude le nombre de luminaires nécessaires pour obtenir le meilleur niveau d'illumination. Ici, un luminaire prismatique enveloppant avec deux lampes de 40 W devrait être spécifié (ill. 20). Le niveau d'illumination recherché



Trois cavités utilisées pour la méthode de cavité de zone
Illustration 24

est de 50 décalux. On prévoit que 5 pour cent des lampes grilleront avant le remplacement.

De là, on peut calculer la réflectance superficielle efficace d'une cavité en s'aidant du tableau 11.

Première étape. Établir les rapports de cavités

Pour utiliser le tableau 11, il faut connaître la réflectance des murs et de la base de la cavité (du plafond pour une cavité de plafond et du plancher pour une cavité de plancher) ainsi que le <<rapport des cavités>>. Ce dernier représente le rapport entre l'aire verticale de la cavité et l'aire horizontale. On utilise un multiplicateur de cinq afin d'obtenir un rapport de cavité supérieur à un pour la plupart des pièces:

$$CR = 5\ h \times (l + w) \div (l \times w)$$

où: CR est le rapport de cavité
h est la hauteur de la cavité
l est la longueur de la cavité et
w est la largeur de la cavité

Exemple: Rapport de cavité de la salle de formation
Rapport de cavité du plafond (CCR)

Comme le luminaire choisi s'accroche directement au plafond, il n'y a pas de cavité de plafond et la table des CU sera utilisée à une réflectance de cavité de plafond efficace égale à la réflectance du plafond, soit 80 pour cent.

Rapport de cavité de la pièce (RCR)

Comme le plan de travail se trouve à 0,76 m du plancher, la hauteur de la cavité de la pièce devient 3 - 0,76, soit 2,24 m. Suit le calcul du rapport de cavité de la pièce.

$$RCR = 5h \times (l + w) \div (l \times w)$$
$$= 5 \times 2{,}24 \times (13{,}7 + 6{,}1) \div (13{,}7 \times 6{,}1)$$
$$= 2{,}7$$

Rapport de cavité du plancher (FCR):

$$FCR = 5h \times (l + w) \div (l \times w)$$
$$= 5 \times 0{,}76 \times (13{,}7 + 6{,}1) \div (13{,}7 \times 6{,}1)$$
$$= 0{,}9$$

Deuxième étape.

Calculer la réflectance efficace des cavités Une fois les rapports de cavités connus, il s'agit de calculer la réflectance efficace de cavité pour les cavités du plafond et du plancher d'après le tableau 11.

Exemple: Calcul de la réflectance efficace de la cavité du plancher

D'après la première ligne du tableau 11, la réflectance de base en pourcentage, qui est la réflectance du plancher dans le cas présent, a été mesurée à 30 pour cent. D'après la deuxième ligne, la réflectance du mur en pourcentage a été mesurée à 50 pour cent. Sachant que le rapport de cavité du plancher est de 0,9 d'après la colonne de gauche, la réflectance efficace de la cavité du plancher serait 27 pour cent.

Troisième étape.Calculer le coefficient d'utilisation (CU)

Le coefficient d'utilisation est un facteur servant à établir l'efficacité d'un luminaire à fournir un éclairage au plan de travail. Le CU est le taux de lumière émise atteignant le plan de travail. Ce renseignement est fourni par le fabricant du luminaire pour les cas d'éclairage uniforme. Le CU dans le cas d'éclairage non uniforme se calcule plus précisément par analyse informatique. La plupart des grands fabricants fourniront ces analyses sans frais.

On ne peut jamais insister assez sur l'importance d'un luminaire efficace. Exemple: supposons que le luminaire choisi pour la salle de formation à l'ill. 20 donne un CU de 0,50 et demande 100 luminaires. Si on peut utiliser un luminaire plus efficace avec un CU de 0, 75, 67 luminaires suffiront. Une réduction du nombre de luminaires signifie une épargne au niveau des coûts initiaux et des coûts de cycle.

Exemple: CU de la salle de formation

La première ligne du tableau 11 donne la réflectance efficace de la cavité du plafond (80 pour cent). La deuxième ligne donne celle du plafond (50 pour cent). Le RCR est le rapport de la cavité de la pièce. Par interpolation du RCR de 2,7 calculé, on obtient un CU de 0,59.

Quatrième étape. Calcul du facteur de perte de lumière (LLF)

Le facteur de perte de lumière tient compte de la perte de production de lumière avec l'âge (réduction des lumens d'éclairage ou LLD qui est le pourcentage de lumens initiaux à 70 pour cent de la durée utile) et de l'accumulation de poussière (facteur de perte par empoussiérage ou LDD). Il tient aussi compte des grillages de lampes (LBO) car il n'est pas possible de remplacer les lampes grillées immédiatement (le LBO est le plus petit rapport entre les lampes restantes et le total des lampes). et du RSDD (perte par empoussiérage de la pièce) qui dépend de la distribution du flux lumineux ainsi que du niveau d'entretien de la pièce.

LLF = LBO x LLD x LDD x RSDD

Exemple: Calculer le LLF de la salle de formation

Grillage des lampes (LBO)

Supposons la politique de remplacement des lampes suivante pour la salle de formation: lorsque 5% des lampes sont grillées, on les remplace. Le LBO est donc de 0,95.

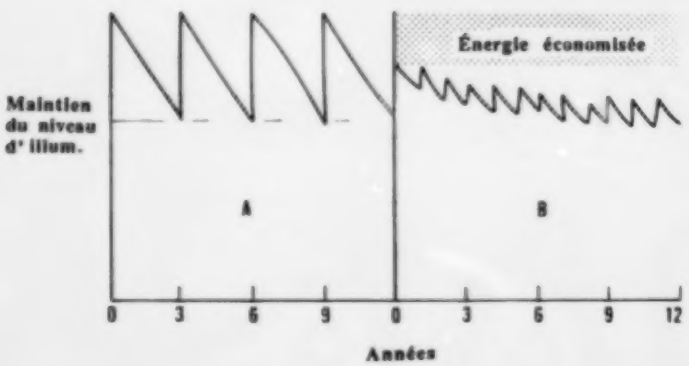
Perte de lumens d'éclairage (LLD)

Le LLD pour l'éclairage à incandescence est à 100 pour cent de la durée utile divisé par les lumens initiaux. Pour l'éclairage fluorescent et à décharge haute intensité, le LLD est à 70 pour cent de la durée utile basé sur une durée de 100 heures. Dans le cas de la salle de formation, les données du fabricant, au tableau 12, pour les fluorescents choisis, sont 3150 lumens à 100-h (initiaux) et de 2650 lumens à 70 pour cent de la durée utile.

LLD = 2650/3150
= 0,84

Pertes par empoussiérage du luminaire (LDD)

L'empoussiérage d'un luminaire réduira la réflectance de ses surfaces et la transmittance des lentilles et des diffuseurs. On en tient compte avec le facteur LDD. Une façon de tenir le LDD au minimum et d'économiser sur les coûts d'éclairage est de choisir des luminaires conçus pour limiter l'empoussiérage. Souvent, les concepteurs augmenteront l'aire (illumination compensatoire) d'un système d'éclairage en pensant que l'entretien sera négligé. Dans le cas de notre salle de formation, supposons que le concepteur a prévu un LLD de 0,83.



Effet d'un programme d'entretien de l'éclairage sur la consommation d'énergie
Illustration 25

Pertes par empoussiérage de la pièce (RSDD)

La poussière sur les surfaces réduit l'élément de réflexion du flux lumineux et, par conséquent, l'illumination sur le plan de travail. L'illustration 25 montre l'effet d'un programme d'entretien de l'éclairage sur la consommation d'énergie d'éclairage. Le programme d'entretien pour le système A comprend le nettoyage et le remplacement des lampes tous les trois ans, celui du système B, le nettoyage et le remplacement du tiers des lampes, une fois par année. Le programme B permet une réduction de la puissance d'éclairage branché de 15 pour cent par rapport au programme A. Supposons donc que le RSDD de notre salle de formation a été établi à 0,93.

Exemple: Calcul du LLF

Suit le calcul du LLF pour la salle de formation:

LLF = LBO x LLD x LDD x RSDD
= 0,95 x 0,84 x 0,83 x 0,93
= 0,61

Cinquième étape. Calculer le nombre de luminaires requis

Connaissant le CU et le LLF, nous pouvons maintenant calculer le nombre de luminaires requis.

$N = (E \times A) \div (CU \times n \times LLF)$

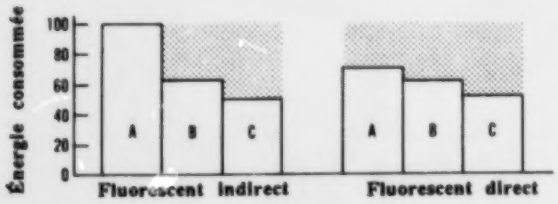
où E est l'illumination recherchée en lux (lx)
O les lumens initiaux par lampe (lm)
A l'aire du plan de travail (m^2)
N le nombre de luminaires requis
n le nombre de lampes par luminaire
CU le coefficient d'utilisation et
LLF le facteur de perte de lumière

$N = (500 \times 83{,}6) \div (0{,}59 \times 3150 \times 2 \times 0{,}61)$
N = 19

Le calcul par la méthode de cavité de zone sur la feuille de travail n° 3 résume les calculs de l'éclairage pour la salle de formation et dénote l'importance des divers facteurs qui contribuent à l'efficacité du système d'éclairage. Exemple: L'utilisation de finis à plus grande réflectance réduira le nombre de luminaires requis et économisera de l'énergie. L'illlustration 26 montre la réduction du besoin d'énergie pour une illumination égale dans une pièce moyenne de réflectance améliorée. Les réflectances sont:

	Plafond	Murs	Plancher
A	50	30	10
B	80	40	20
C	90	60	40

La section rayée indique le pourcentage d'économie d'énergie.



Consommation d'énergie par rapport au niveau d'illumination
Illustration 26

Occasions favorables à bon compte

Les occasions favorables à bon compte sont des mesures peu coûteuses qu'on n'adopte ordinairement qu'une seule fois. Nous décrivons ci-après des travaux typiques d'économie d'énergie à faible coût.

1. Installation de lampes énergétiquement efficaces

Au moment de remplacer les lampes, substituer aux lampes standard de 40, 60, 75, 100 et 150 W des lampes de 34, 52, 67, 90 et 130 W plus économiques énergétiquement. Exemple: les lampes fluorescentes plus récentes de 34 W compensent la différence de leur coût en 9,6 mois quand elles brûlent pendant 60 heures par semaine (en se basant sur un tarif d'électricité de 0,06$/kWh et un supplément de coût de 0,90$ par lampe). Observer que les exigences réduites d'éclairage peuvent permettre de remplacer une lampe de 60 W non pas par sa contrepartie de 52 W énergétiquement économique mais par une lampe de 34 W. En fait, la substitution applique deux mesures d'épargne d'énergie dans un remplacement des lampes et elle permet d'épargner davantage.

2. Installation de contrôleurs d'éclairage visant à abréger la durée d'utilisation

Utiliser par exemple des interrupteurs à minuterie pour éteindre automatiquement les lampes une heure après la fin de chaque relève. Considérer aussi l'utilisation d'interrupteurs à cellules photoélectriques, comme dans le cas des plates-formes de chargement.

3. Plan de remplacement simultané de toutes les lampes

Programmer le remplacement total au moment le plus favorable du remplacement des lampes; comparer minutieusement le coût de la main- d'oeuvre au coût du changement dans le calcul du changement total des lampes.

4. Installer des ballasts efficaces énergétiquement

Il n'est pas toujours rentable de remplacer les ballasts dans le seul but d'augmenter l'efficacité énergétique. Cependant, il peut être avantageux de garder en stock des ballasts efficaces énergétiquement comme unités de remplacement. Avant la mise en oeuvre d'un tel programme, vérifier avec l'aide du fabricant la compatibilité des lampes avec les ballasts.

5. Utilisation de couleurs pâles dans le plan de décoration d'intérieur

On l'a déjà montré dans la section des notions fondamentales, une installation électrique peut donner beaucoup plus de lumière quand la réflectance de la surface est élevée. C'est une considération à retenir dans le choix des arrangements de couleurs avant d'entreprendre la décoration.

6. Envisager l'utilisation de lampes à vapeur de sodium à basse pression

Dans les endroits où tout peut paraître jaune ou gris, on recommande l'utilisation de lampes à vapeur de sodium basse pression. Observer que tel n'est pas le cas des périmètres gardés de grande sécurité, du fait que la difficulté de la vision augmente sensiblement dans une lumière monochromatique. Quand on utilise des lampes à vapeur de sodium basse pression à l'intérieur des édifices, il peut y avoir incompatibilité avec la sûreté des occupants en cas de panne d'électricité et avec le retard d'une minute avant que la lampe à vapeur de sodium basse pression donne un rendement lumineux appréciable. Dans un cas semblable, il faut recourir à d'autres lampes pour satisfaire le besoin d'éclairage d'appoint en cas d'urgence.

7. Appliquer là où c'est possible la formule d'éclairage de la tâche

Installer des projecteurs sur les grues et les empileuses pour être en mesure de diminuer les niveaux d'éclairage dans les entrepôts. Évidemment, les facteurs de sûreté et de productivité ne doivent pas être négligés et doivent conserver leur présence sur les épargnes éventuelles d'énergie.

Exemples de calculs d'occasions favorables à bon compte

1. Installation de lampes énergétiquement efficaces

Étant donné que le design de nombreux systèmes d'éclairage en usage au cours des 5 ou 10 dernières années prévoit de 70 à 150 decalux, le remplacement des lampes par des lampes à faible wattage peu coûteuses a fourni un moyen simple et efficace d'amenuiser les coûts d'utilisation tout en satisfaisant ou excédant les standard actuels

d'illumination moins élevés.

Bien que les lampes à faible wattage coûtent légèrement plus cher au détail, dans la pratique, le prix du gros à l'achat en grandes quantités peuvent se rapprocher des prix des lampes standard.

Calcul des épargnes sur les coûts annuels
Épargne sur les coûts = heures par année
x nombre de lampes
x (wattage actuel des lampes - wattage diminué des lampes)
x tarif d'électricité

Supposons qu'il s'agit de remplacer les lampes d'un bureau éclairé avec 200 lampes fluorescentes de 40 watts, 60 heures par semaine, par des lampes de 34 W, étant donné qu'on peut facilement y tolérer la réduction d'éclairage de 10%.

On peut le montrer en comparant les résultats de l'inventaire d'éclairage de la feuille de travail no 1 aux valeurs d'éclairage recommandées dans le cas d'un bureau général. Calculer l'épargne annuelle avec un tarif de 0,06$/kWh.

Épargne sur les coûts = h/an x nbre total de watts épargnées x $/Wh
= 52 x 60 x 200 x (40 - 34) x 0,06$/1000 = 624 000 x 6 x 0,00006$
= 224,64$

2. Installation de contrôleurs d'éclairage pour réduire la durée de l'éclairage

Il existe trois moyens fondamentaux d'obtenir une réduction de la durée de l'éclairage :

1. Minuterie
2. Captage de la présence d'une personne
3. Extinction à la main

Si l'activité du secteur se poursuit suivant un horaire fixe, c'est un dispositif à minuterie de contrôle de l'éclairage qui est le mieux approprié. (Par exemple, on peut prévoir l'allumage des lampes une heure avant l'arrivée de la relève régulière et leur extinction une heure après la fin de cette relève.) S'il en est autrement, il convient d'installer un appareil de captage d'occupation qui fonctionne par ondes ultrasoniques ou infrarouges. Évidemment, si par mégarde on installait un capteur de ce genre dans une aire à grand achalandage, la durée de la lampe serait abrégée à cause de l'augmentation du nombre d'amorçages de cette lampe tous les jours.

L'épargne annuelle se calcule comme suit:

Épargne sur les coûts = (nombre actuel d'heures d'éclairage - nombre réduit d'heures d'éclairage) x charge d'éclairage en kW x tarif d'électricité.

Supposons par exemple qu'une salle de casiers de douches est éclairée par 40 lampes fluorescentes de 40 W. On estime que l'installation d'un capteur d'occupation ou d'une minuterie pourrait diminuer la durée d'éclairage de 50%. En supposant un tarif d'électricité de 0,06$/kWh, les économies annuelles seraient:

Épargne sur les coûts = heures x watts x $/Wh
= 0,50 x 7 x 24 x 52 x 40 x 40 x 0,06$/1000 = 419,32$/an

En supposant que l'installation du dispositif d'extinction coûte 200$, le temps de remboursement serait

200$ ÷ 419,32/an = 6 mois

3. Plan de remplacement simultané de toutes les lampes

Dans certains cas, il peut être avantageux d'échanger des coûts de main-d'oeuvre relativement élevés contre l'utilité rémanente marginale des lampes.

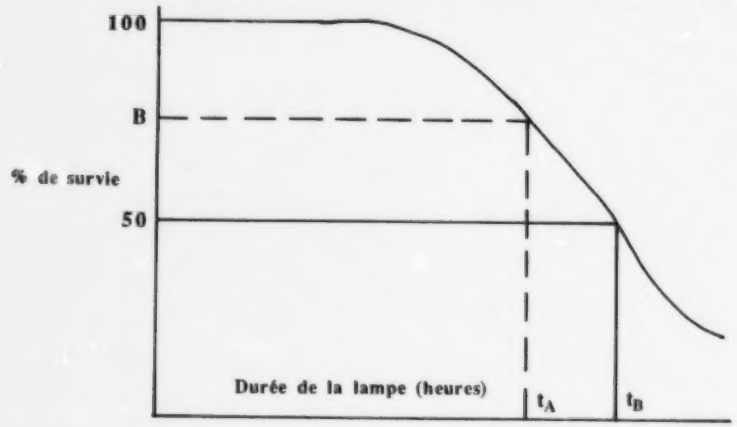
Le remplacement total des lampes est une technique servant à l'amélioration de la fiabilité du système d'éclairage et à la diminution des coûts de main-d'oeuvre d'entretien. On retire les lampes qui éclairent encore après

avoir servi pendant 70 ou 80% de leur durée utile et on les remplace par des neuves. On appelle le moment choisi l'intervalle de temps de remplacement total. En compensation de la diminution de la durée du service des lampes les plus robustes et serviables, on peut compter sur la réalisation d'épargnes appréciables des coûts de main-d'oeuvre nécessaire au remplacement de ces lampes. C'est parce qu'une seule tâche de remplacement total des lampes est plus efficace et moins coûteuse qu'une multitude de mises en train pour remplacer une seule lampe à la fois.

Le calcul suivant a pour but de comparer cette diminution de durée des lampes à la réduction des coûts de main-d'oeuvre consentis. Mais, le remplacement total des lampes comporte un autre avantage: l'augmentation de la fiabilité du système, qu'il convient de pondérer séparément. (En ce qui a trait à l'éclairage de sécurité, quand la fiabilité du système est d'une importance primordiale, le remplacement total des lampes est la règle plutôt que l'exception.)

Lors du remplacement total des lampes, on peut soit employer des lampes usagées qui fonctionnent encore, soit remplacer toutes les lampes par des neuves. De cette façon, les lampes usagées peuvent servir au remplacement des lampes intérieures parce que le processus de design prévoit un certain nombre de grillages tout en assurant un éclairage satisfaisant. Cette norme ne s'applique pas à l'éclairage extérieur parce que chaque source lumineuse compte dans

Courbe typique de survie d'une lampe servant au calcul du remplacement total



Courbe typique de survie des lampes
Illustration 27

le rendement du système. La plupart des fabricants ont des programmes informatisés qui calculent les stratégies optimales de remplacement total des lampes.

Le remplacement total des lampes est particulièrement efficace quand on fait usage de contrôleurs automatiques d'énergie. Dans ce cas, l'intervalle de remplacement total des lampes n'est pas de 70% de la durée nominale de la lampe mais de 100%, c'est-à-dire, quand le système à plein rendement de flux lumineux ne peut plus donner l'éclairement prévu par le design. Le plus long intervalle entre les remplacements des lampes entraîne des épargnes supplémentaires de coûts d'entretien.

Le calcul suivant peut servir de modèle d'évaluation des différents facteurs et des composantes de la stratégie de remplacement des lampes. Normalement, un programme informatisé comprendrait un modèle plus compliqué et par conséquent, il donnerait un résultat plus précis. Observer que le calcul ne traite pas directement de l'énergie bien que la consommation de l'énergie soit réduite comme on le montre dans l'étude de cas qui suit. Les équations suivantes quantifient l'échange du coût de la main- d'oeuvre contre le coût des lampes.

Première équation

La première équation établit le coût des lampes (CB) et le coût de remplacement des lampes par rapport au temps de remplacement total.

$$CB = N \times (C + IL + OLB) \div tB$$

Dans cette équation,

CB = le coût en dollars des lampes et de la main-d'oeuvre de remplacement total
N = le nombre de lampes
C = le coût par lampe
IL = l'accroissement du coût de main-d'oeuvre par lampe remplacée
OLB = le coût fixe des frais généraux de main-d'oeuvre
tB = l'intervalle de remplacement total

Dans l'ill. 27, tB correspond à l'intervalle de temps de remplacement total des lampes tandis que tA s'applique à la durée moyenne des lampes. L'approximation de tA est égale au nombre d'heures correspondant au point de survie de 50%.

Deuxième équation

Avec cette deuxième équation, le coût des lampes (CS) plus le coût de remplacement des lampes comparativement au temps de remplacement des lampes une à une peut se calculer comme suit:

$$CS = N \times (C + IL + OLS) \div tA$$

Dans cette équation,
CS = le coût en dollars des lampes et de la main-d'oeuvre de remplacement des lampes une à une
N = le nombre de lampes
C = le coût par lampe
IL = l'accroissement du coût de la main-d'oeuvre par lampe remplacée
OLS = le coût fixe de frais généraux de main-d'oeuvre par tâche d'entretien des lampes une à une
tA = la durée moyenne de la lampe

En appliquant ces équations à un laboratoire éclairé par 51 appareils d'éclairage fluorescent de deux lampes, on obtient la comparaison de coûts suivante.

Les lampes coûtent 4$ chacune et on estime que la main-d'oeuvre revient à 16$ l'heure. Une équipe de 2 hommes est affectée à cette tâche. Les données du fabricant montrent une durée moyenne de lampe (tA) de 20 000 heures. On a décidé de remplacer toutes les lampes à 75% de leur durée nominale; donc, tB est 75% de 20 000. On estime que l'équipe met une heure pour apporter et enlever du laboratoire l'outillage et les matériaux de remplacement des lampes et la moitié de ce temps pour le remplacement des lampes une à une. En moyenne, il faut 3 minutes pour remplacer une lampe. En se basant sur ce scénario:

$$CB = N \times (C + IL + OLB) \div tB$$
$$= 102 \times (4\$ + 1{,}60\$ + 32\$ \times 3/60) \div (0{,}75 \times 20\,000)$$
$$= 734{,}40\$ \text{ -: } 15\,000$$
$$= 0{,}04\$$$

CB est le coût par heure par lampe, exclusion faite des coûts d'énergie.

$$CS = N \times (C + IL + OLS) \div tA$$
$$= 102 \times (4\$ + 1{,}60\$ + 16\$) \div 20\,000$$
$$= 0{,}11\$$$

CS est le coût de la lampe et de la main-d'oeuvre par heure de durée de la lampe. Comme on le voit dans l'exemple, vu le coût élevé d'installation, le remplacement des lampes une à une est une formule de rechange plus coûteuse que le remplacement total.

Étude d'un cas de remplacement total

Dans un gratte-ciel typique de bureaux (33 200 m^2 de plancher plus 1800 m^2 de cages d'ascenseurs et d'escalier), on a constaté une réduction de 165 375 kWh de la consommation annuelle d'énergie d'éclairage attribuable à un programme de remplacement total des lampes. Cette économie de 9742$ par an (basée sur un tarif d'électricité de 0,06$/kWh) serait inattendue dans le calcul précédent où l'on ne tient compte que des coûts de la main-d'oeuvre

d'entretien et des lampes. Cette épargne est attribuable à l'élimination de l'innefficacité relative d'un circuit contenant une lampe grillée, situation qui surgit moins fréquemment dans le cas du remplacement total des lampes.

L'utilisation d'énergie d'éclairage de l'édifice (41,8% du total annuel de l'énergie consommée) a diminué de 27% l'application des techniques suivantes:

1. éclairage des tâches, réduction d'éclairage	10%
2. efficacité accrue des luminaires aérés	6%
3. remplacement total des lampes	2%
4. amélioration de l'allumage de l'éclairage	9%
Épargne totale	27%

Occasions favorables de modification après coup

On entend par occasions favorables de modification après coup les mesures d'économie qu'on n'applique qu'une fois et dont le coût est important. Plusieurs occasions de cette catégorie exigent une analyse approfondie par des spécialistes; il serait impossible de les examiner en détail dans le présent module qui contient toutefois des exemples de calculs de certaines de ces occasions. Les occasions d'économie d'énergie typiques qui suivent appartiennent à la catégorie des occasions après coup.

1. Mise en oeuvre d'un système d'éclairage à coût efficace

Lors de la rénovation ou de l'ajout de nouveaux espaces d'usine ou de bureau, dresser les plans d'un nouveau système d'éclairage qui absorbe moins d'énergie tout en satisfaisant les besoins d'éclairage. Les occasions de cette nature permettent d'utiliser les méthodes de calcul de coûts basés sur les cycles de durée pour choisir le système d'éclairage le plus efficace quand on fait entrer en ligne de compte les coûts d'origine et les coûts d'utilisation.

2. Incorporer l'éclairage dans l'architecture globale de l'édifice

On peut obtenir ce résultat lors de rénovations; on ignore trop souvent l'importance de l'éclairage dans ces rénovations. Il s'agit dans ces cas de l'aménagement de puits de lumière naturelle, de l'étude du design des aires de manière à y grouper les tâches exigeant un degré élevé d'éclairage et la réorganisation des aménagements de sorte que les besoins d'espace soient à proximité des fenêtres. En outre, il est souvent possible d'améliorer le bilan thermique du bâtiment en dirigeant l'air d'évacuation vers les appareils d'éclairage à dispositif d'aération.

3. Modification du système de contrôle de l'éclairage

Dans les cas où la durée des lampes peut être altérée défavorablement par un excès d'allumages et d'extinctions, il peut s'avérer nécessaire d'enlever tous les interrupteurs montés dans les murs. L'allumage se ferait par un système central d'économie du bâtiment où s'appliquerait une stratégie soigneusement étudiée de conservation d'énergie.

Exemple de calculs d'occasions favorables d'amélioration après coup

1. Mise en oeuvre d'un système d'éclairage à coût efficace

Un système d'éclairage à coût efficace comprend le choix des lampes et des appareils d'éclairage et l'étude des réflectances des surfaces de la pièce. La réflectance de surface doit être tenue aussi élevée que le permet le milieu. Le choix des lampes et des appareils d'éclairage peut être facilité par l'application du calcul des coûts des cycles de durée. L'application de la formule des coûts de cycles de durée au choix des lampes servant à une fin déterminée comporte l'évaluation de chacun des facteurs suivants:

1. efficacité lumineuse
2. rendement des couleurs
3. durée
4. coûts (d'immobilisation et d'utilisation)

Une comparaison des coûts basée sur l'éclairage de tâches égales peut aider au design de l'équipement d'éclairage le plus efficace pour un lieu donné. Au cours des années, l'efficacité de l'éclairage peut apporter au propriétaire une compensation sous forme de réduction appréciable des coûts d'énergie et d'entretien en échange de son immobilisation d'origine dans un système plus dispendieux.

La feuille de travail no 2 énumère les paramètres fondamentaux du système:
ligne 1 Lieu
ligne 2 Éclairement proposé en lux
ligne 3 Aire totale en mètres carrés
ligne 4 Nombre d'heures d'éclairage par année
ligne 5 Tarif d'électricité

La feuille de travail no 2 comprend aussi les données suivantes du fabricant sur les choix proposés pour chaque appareil d'éclairage:
ligne 6 Nombre initial de lumens de la lampe
ligne 7 Durée nominale de la lampe en heures
ligne 8 Nombre de watts à l'entrée de chaque appareil
ligne 9 Fraction de lumens efficaces à la sortie de l'appareil d'éclairage (parfois appelée coefficient d'utilisation dans les feuilles de travail)
ligne 10 Facteur de dépréciation des lampes
ligne 11 Facteur de dépréciation par empoussièrement
ligne 12 Lumens efficaces (6 x 9 x 10 x 11)
ligne 13 Nombre d'appareils d'éclairage (2 x (3 ÷ 12)
ligne 14 Puissance totale à l'entrée en watts (13 x 8)
ligne 15 Coût d'un appareil d'éclairage
ligne 16 Coût du câblage: ex. (150$ par kW) ÷ 13
ligne 17 Coût de la main-d'oeuvre d'installation d'un appareil d'éclairage
ligne 18 Coût de la lampe par appareil d'éclairage
ligne 19 Coût initial total 13 x (15 + 16 + 17 + 18)
ligne 20 Nombre de lampes par appareil
ligne 21 Nombre de remplacements de lampes par année 13 x 20 x (4 ÷ 7)
ligne 22 Coût de la main-d'oeuvre par remplacement d'une lampe
ligne 23 Coût d'une lampe par année (21 x 22) + (18 ÷ 20)
ligne 24 Coût de l'énergie par année 14 x 4 x 5
ligne 25 Coût total d'utilisation par année (23 + 24)

La feuille de travail no 3 illustre l'efficacité de la lampe à vapeur de sodium haute pression pour l'éclairage d'une aire de 1000 m2 à 500 lux, comparativement à la même illumination utilisant des lampes à vapeur de mercure.

L'installation de 26 lampes à vapeur de mercure de 1000 W coûte 1076$ comparativement à 8190$ pour 21 lampes à vapeur de sodium haute pression de 400 W. Néanmoins, quand on calcule les coûts de remplacement et d'énergie,le coût total annuel d'utilisation du système d'éclairage à vapeur de mercure s'établit à 5213$ comparativement à 1995$ pour le système à vapeur de sodium haute pression. Moyennat un supplément de coût, la mise de fonds plus élevée dans le système d'éclairage à vapeur de sodium haute pression donne une périod de remboursement à taux simple de:

(8190$ - 1076$)
(5213$ - 1995$)

= 7114$
3218$

= 2,2 ans

Feuille de travail no 4
Examiner les possibilités d'améliorations après coup

Les feuilles no 4a et 4b de modifications de l'éclairage après coup résument les données relatives à la possibilité de remplacer un système d'éclairage fluorescent existant par un système à vapeur de sodium haute pression. Le coût du système d'éclairage flourescent figure à la feuille 4a; elle montre ce que serait le coût de remplacement du système d'éclairage existant. Aux fins de cet exemple , on suppose que le système d'éclairage fluoresecent a atteint le terme de sa durée utile.

Les deux systèmes fournissent 750 lux d'éclairage horizontal moyen; observer qu'un nouveau système d'éclairage fluorescent améliorerait l'aménagement existant par l'ajout de 3 nouveau appareils.

La feuille no 4a a montré que le coût initial total de 54 appareils d'éclairage fluorescent s'élève à 5616$ comparativement à 3684$ pour les 12 appareils d'éclairage à vapeur de sodium haute pression figurant dans la feuille no 4b. On estime à 1055$ le coût annuel d'utilisation du système d'éclairage fluorescent. Le coût d'utilisation du système d'éclairage à vapeur de sodium haute pression est estimé à 763$.

D'après ce scénario, le coût initial du système d'éclairage à vapeur de sodium haute pression permettrait d'épargner 1932$ (5616$ fluorescent - 3684$ vapeur de sodium haute pression). En outre, le coût annuel d'utilisation du système d'éclairage à vapeur de sodium haute pression coûterait 292$ de moins par année (1055$ fluorescent - 763$ vapeur de sodium haute pression). Cet exemple montre que l'état du système existant est une considération d'importance dans l'évaluation des occasions opportunes d'améliorations après coup et que les sytèmes d'éclairage plus efficaces peuvent souvent procurer un deuxième choix intéressant quant aux coûts.

ANNEXES

A Glossaire

B Tableaux

C Tableaux de conversion

D Feuilles de travail

Glossaire

Angle solide — Un angle tridimensionnel dont la grandeur correspond à l'aire projetée sur la surface d'une sphère. Il se mesure en steradians.

Angle de coupure — L'angle, mesuré selon la verticale descendante, auquel la source lumineuse provenant d'un luminaire cesse d'être visible à partir d'un point hors du luminaire. Pour des fins pratiques, l'angle peut être mesuré à partir d'un point convenu en-deça de la source lumineuse.

Candela — L'unité d'intensité lumineuse d'une source de lumière, dans une direction donnée. Le candela standard est dérivé d'un radiateur intégral fonctionnant à une température est une pression données.

Couleur apparente — L'expression générale de la couleur apparente comme chaude ou froide. Elle n'indique pas le rendu des couleurs.

Diffuseur uniforme — Une surface dont le facteur de réflexion ou de transmission est indépendant de l'angle d'illuminance et la luminance est indépendante de l'angle de vue.

Éclairage de travail — Éclairage conçu pour illuminer un poste de travail.

Éclairage directionnel — Éclairage conçu pour illuminer principalement dans une direction donnée.

Éclairage général — Éclairage conçu pour illuminer une aire quelconque.

Efficacité du luminaire — Le rapport entre le flux lumineux (lumens) émis par un luminaire et celui émis par la ou les lampes qu'il comprend.

Efficacité du circuit — Le rapport entre le flux lumineux émis par une lampe et la puissance totale consommée par la lampe et son dispositif de contrôle. Elle se mesure en lumens par watt.

Efficacité lumineuse — Le rapport entre le flux lumineux émis par une lampe et la puissance qu'elle consomme. Elle se mesure en lumens par watt.

Facteur de la lumière du jour — A un point donné à l'intérieur d'un édifice: le rapport entre l'illumination mesurée à l'horizontale de ce point et celle qui existe simultanément à l'horizontale sous un ciel clair de luminance uniforme. La lumière réfléchie de la surface extérieure et intérieure et incluse dans l'illumination à ce point.

Flux lumineux — La lumière émise par une source ou reçue par une surface. La quantité est dérivée du flux radiant (puissance) en évaluant la radiation par rapport à la sensibilité spectrale de l'observateur standard. Il se mesure en lumens.

Illumination — La densité du flux lumineux sur une surface, soit l'incidence de flux lumineux par unité d'aire. Elle se mesure en lux.
Illumination équivalente sphérique — L'illuminance d'une sphère qui donne à la tâche la même visiblité que dans son milieu réel. Elle sert à établir l'efficacité du système d'éclairage en contrôlant les reflets de la tâche vers l'observateur (reflets voileurs).

Intensité lumineuse moyenne sphérique — La valeur moyenne d'intensité lumineuse d'une source lumineuse dans toutes les directions.

Intensité lumineuse — La puissance avec laquelle une source émet la lumière dans une direction donnée. Le flux lumineux émis dans un cône contenant la direction donnée divisé par l'angle solide du cône. Elle se mesure en candelas.

Lumen — Unité SI de flux lumineux servant à décrire la quantité de lumière émise par une source ou reçue par une surface. Une petite source d'intensité uniforme de 1 candela émet un total de 4pi lumens dans toutes les directions et de 1 lumen en deça d'une unité d'angle solide (un steradian). Abrégé 1m.

Luminaire — Un dispositif d'éclairage complet comprenant une ou plusieurs lampes et les accessoires nécessaires à la distribution de la lumière, à la suspension et la protection des lampes et à la connexion à la source de courant.

Luminance — A un point, dans une direction donnée, la densité du flux lumineux quittant la surface dans une direction particulière. Elle se mesure en candelas par mètre carré.

Lux — L'unité d'illuminance. Une illuminance de un lumen par mètre carré. Abrégé 1x.

Méthode de la cavité de zone — Une méthode de conception de l'éclairage servant établir le nombre et le type de lampes et de luminaires nécessaires d'après les caractéristiques de la pièce et l'illuminance moyenne recherchée sur le plan de travail. Elle tient compte des flux direct et réfléchi.

Plan de travail — Le plan sur lequel on effectue les mesures d'illuminance. Sauf indication contraire, on suppose que le plan est à l'horizontale, à 0,85 mètre au-dessus du sol.

Radiateur intégral — Une radiation émettrice de source lumineuse dont la distribution spectrale ne dépend que de la température et non pas du matériau ou de la nature de la source.

Réflectance — Le rapport entre le flux lumineux réfléchi et le flux lumineux incident.

Rendu des couleurs — L'effet qu'à une lampe sur la couleur apparente des objets en comparaison consciente ou inconsciente avec la couleur apparente sous une lumière blanche.

Source lumineuse uniforme — Une source de lumière dont l'intensité lumineuse est la même dans toutes les directions.

Steradian — Unité de l'angle solide. Il y a 4pi steradians autour d'un point dans l'espace.

Taux d'uniformité — Le rapport entre l'illuminance minimale et l'illuminance moyenne. Parfois, le rapport entre l'illuminance minimale et maximale. Le rapport s'applique habituellement aux valeurs sur le plan de travail et au-dessus de l'aire de travail.

Taux de lumière à la sortie — Le rapport de la distance entre des luminaires adjacents et leur hauteur au-dessus du plan illuminé.

Taux espace/hauteur — Le rapport de la distance entre des luminaires adjacents et leur hauteur au-dessus de plan illuminé.

Température correlative des couleurs — La température d'un radiateur qui émet des radiations d'une couleur près de celle de la source lumineuse étudiée. Elle se mesure en degrés Kelvin.

Tableau 1
Niveaux d'illumination recommandés par l'IES pour diverses classes de tâches visuelles

Classe de tâches visuelles	Exemples	Luminance catégorie	Luminance plage(1x)
Aires publiques avec environnement sombre	Entrées	A	20-30-50
Orientation simple pour de courtes visites	Couloirs; salles de rangement	B	50-75-100
Aires de travail où les tâches visuelles ne sont qu'occasionnelles	Salles d'attente; pupitres de réception	C	100-150-200
Tâches visuelles de grand contraste et de grandes dimensions	Salles de conférence; documents imprimés; originaux dactylographiés manuscrits à l'encre; travail industriel grossier	D	200-300-500
Tâches visuelles de contraste moyenne et de faibles dimensions	Bureau d'ingénieur, manuscrit à la mine moyenne; document imprimé ou reproduit de faible qualité; travail industriel moyen	E	500-750-1000
Tâches visuelles de faible contraste ou avec des détails très petits	Manuscrit au crayon dur sur papier de mauvaise qualité; travail industriel difficile	F	1000-1500-2000
Tâches visuelles de faible contraste avec détails très petits qui demandent beaucoup de temps	Travail industriel fin; inspection difficile	G	2000-3000-5000
Tâches visuelles prolongées et ardues	Travail ultra fin	H	5000-7500-10000
Tâches visuelles très spéciales de contraste extrêment faible et de dimensions minuscules	Procédures chirurgicales; couture	I	10000-15000-20000

Tableau 2

Analyse des coûts basée sur le temps nécessaire à l'exécution du travail quand l'éclairage est réduit de 1500 à 500 lux

Lux	Durée relative pour le mème travail	Coûts de main-d'oeuvre pour le mème travail ($/m²/an)	Coût total de l'éclairage ($/m²/an)	Coût total net ($/m²/an)	Perte net ($/m²/an)
1,500	1.000	2,952.80$	34.40$	2,987.20$	
500	1.136	3,354.30$	11.50$	3,365.80$	378.60$
		401.50$	22.90$		

Tableau 3
DEU de base

Tâche ou aire	DEU de base Watts par mètre carré	DEU de base Watts par pied carré	Note
Aires communes			
Salle de chauffage	7.53	0.7	d
Salle de conférence	13.99	1.3	a
Couloir	6.46	0.6	d
Salle de l'équipement électrique	6.46	0.6	d
Services alimentaires			
Salles à manger	15.07	1.4	b
Cuisine	18.30	1.7	
Garage, stationnement	2.15	0.2	d
Assemblée générale (auditorium)	18.30	1.1	
Laboratoires	34.44	3.2	
Bibliothèque	23.68	2.2	
Entrée, réception, salle d'attente	10.76	1.0	
Salle de casiers et douches	6.46	0.6	d
Salle de courrier	30.14	2.8	
Manutention (en vrac)	7.53	0.7	
Salle des machines	6.46	0.6	d
Escalier	6.46	0.6	d
Salles de rangement et entrepôts			
Aucune activité	2.15	0.2	
Grande activité	4.31	0.4	
Activité moyenne	6.46	0.6	
Salle de commutation et de contrôle	18.30	1.7	
Toilettes	7.53	0.7	
Espaces non définis	2.15	0.2	d
Salles de service, en général	4.31	0.4	
Bureaux			
Comptabilité	34.44	3.2	f
Dessin	50.59	4.7	f
Classement (avec activité)	21.53	2.0	
Classement (sans activité)	8.61	0.8	
Arts graphiques	32.29	3.0	f
Opération des machines de bureau			
Ordinateurs	18.30	1.7	
Copieurs	7.53	0.7	
E/S sur terminal (éclairage interne)	7.53	0.7	
E/S sur terminal (éclairage ambiant)	18.30	1.7	
Dactylographie et lecture	23.68	2.2	f
Résidences			
Salle de bain	46.28	4.3	d
Chambre à coucher	15.07	1.4	a,d
Salon	23.68	2.2	d
Garage	5.38	0.5	d
Cuisine	43.06	4.0	d
Salle de lavage	10.76	1.0	d
Pièces non finies	5.38	0.5	d
Commerces et institutions			
Armoiries			
Salle de manoeuvres	6.46	0.6	
Exhibitions	8.61	0.8	
Estrades	4.31	0.4	
Galeries d'art	17.22	1.6	a
Banques			
Entrées, en général	24.76	2.3	
Rafforts et poinçonnage	50.59	4.7	
Guichets	50.59	4.7	
Bar	11.84	1.1	b
Salons de barbier et de coiffure	40.90	3.8	
Églises, synagogues, aire principale de prière	24.76	2.3	a
Clubs	11.84	1.1	
Cours	9.69	0.9	
Dépôts, aérogares et gares			
Salle de consigne	13.99	1.3	
Salle des pas perdus (passage direct)	8.61	0.8	
Plate-forme	6.46	0.6	d
Billetteries	23.68	2.2	
Salles d'attente et de repos	8.61	0.8	
Hôpitaux			
Autopsie	34.44	3.2	
Centre de fournitures sanitaires	13.99	1.3	
Corridors, aires spéciales			
Postes d'infirmerie	6.46	0.6	d
Aires de chirurgie et labo	8.61	0.8	d
Aires de soins intensifs	40.90	3.8	
Salle de cystoscopie	40.90	3.8	
Cabinet de dentiste	34.44	3.2	a
Salle des prélèvements et ECG	8.61	0.8	
Clinique externe d'urgence	40.90	3.8	
Salles d'endoscopie (non urologique)	30.14	2.8	
Salles d'examen et de traitement	21.53	2.0	
Salles des fractures	21.53	2.0	
Unités d'inhalothérapie	8.61	0.8	
Laboratoires	34.44	3.2	
Lingeries	7.53	0.7	
Foyer ou salle d'admission	21.53	2.0	
Studio d'illustrations médicales	59.20	5.5	
Salles des dossiers	30.14	2.8	
Morgue	8.61	0.8	
Pouponnières	40.90	3.8	
Postes d'infirmières	15.07	1.4	
Salles d'accouchements			
Aire d'accouchement	81.81	7.6	
Salle de travail	19.69	0.9	
Aire de réveil après accouchement	11.84	1.1	
Ergothérapie	13.99	1.3	
Chambres (avec toilette)	15.07	1.4	a,d
Pharmacie	32.29	3.0	
Thérapie physique	20.45	1.9	
Salle de réveil post-anasthétique	40.90	3.8	
Laboratoire de pneumologie	34.44	3.2	
Salles de radiologie			
Aires de préparation	26.91	2.5	
Procédés spéciaux	53.82	5.0	
Salles de traitement	5.38	0.5	
Solarium	6.46	0.6	
Salles de préparation à la chirurgie et salles d'attente	34.44	3.2	
Salles d'opération			
Salles d'opérations générales	81.81	7.6	
Aire de sous-stérilisation et d'instruments	7.53	0.7	
Salle de services, de travail	13.99	1.3	
Salles d'attente générale	6.46	0.6	
Hôtels			
Salles de bains	13.99	1.3	a,d
Chambres	15.07	1.4	a,d
Foyer	11.84	1.1	
Entrée générale	11.84	1.1	a
Buanderies			
Repassage à la main	30.14	2.8	
Repassage, pesée, listage, marquage	13.99	1.3	
Finition à la machine et presse, tri	18.30	1.7	
Lavage	7.53	0.7	
Bibliothèque			
Salles d'écoute générale	7.53	0.7	
Salle d'audio-visuel	18.30	1.7	
Rayons de livres (actifs)	9.69	0.9	
Rayons de livres (inactifs)	4.31	0.4	
Réparation et reliure des livres	20.45	1.9	
Fiches	34.44	3.2	
Catalogage	23.68	2.2	
Salle de microfiches	23.68	2.2	
Salles de lecture	23.68	2.2	
Édifices municipaux - Police et pompiers			
Salle des fourgons d'incendie	7.53	0.7	
Dortoir des pompiers	15.07	1.4	a
Dossiers d'identification	50.59	4.7	
Cellules d'incarcération	8.61	0.8	
Salles de récréation	9.69	0.9	
Maisons de soins infirmiers			
Aire d'administration et foyers	15.07	1.4	
Chapelle ou lieu de recueillement	9.69	0.9	

Tableau 3
DEU de base

Tâche ou aire	DEU de base Watts par mètre carré	DEU de base Watts par pied carré	Note
Postes d'infirmières	15.07	1.4	a
Thérapie professionnelle	13.99	1.3	
Unité (ou salle) de soins aux malades	15.07	1.4	a,d
Aire générale de la pharmacie	17.22	1.6	a
Thérapie physique	20.45	1.9	
Secteur de divertissement	5.07	1.4	
Bureaux de poste			
Hall	7.53	0.7	
Tri, expédition, etc.	30.14	2.8	
Restaurants - voir aires communes (services alimentaires)			
Écoles			
Arts	32.29	3.0	
Salles de cours	23.68	2.2	
Dortoirs	15.07	1.4	a
Dessin	34.44	3.2	
Économie domestique	15.07	1.4	
Laboratoires	30.14	2.8	
Conférences	23.68	2.2	
Musique	18.30	1.7	
Couture	45.21	4.1	
Ateliers	301.4	2.8	
Salles d'étude ou de dactylo	23.68	2.2	
Stations-service, automobile	7.53	0.7	
Magasins			
Modifications et ajustages	61.35	5.7	
Circulation	9.69	0.9	
Marchandises	40.90	3.8	
Points de vente	20.45	1.9	
Vitrines	93.65	8.7	
Salles d'entreposage	7.53	0.7	
Emballage et empaquetage	13.99	1.3	
Théâtres et cinémas	8.61	0.8	b
Industries			
Entretien d'avions			
Débarcadères et entretien	18.30	1.7	
Révision de moteurs	26.91	2.5	
Fabrication (préparation de prémontage)	26.91	2.5	
Premières opérations de fabrication (premières coupes) marquage, cisaillage, découpage	13.99	1.3	
Fabrication d'avions			
Montage des sous-groupes et final	26.91	2.5	
Production générale	22.60	2.1	
Inspection du montage	26.91	2.5	
Inspection des stocks	53.82	5.0	
Fabrication d'automobiles			
Fabrication de carrosseries			
Assemblage	26.91	2.5	
Finition et inspection	53.82	5.0	
Pièces	18.30	1.7	
Chaîne de montage des châssis	26.91	2.5	
Assemblage final, chaîne d'inspection	53.82	5.0	
Assemblage complet	13.99	1.3	
Boulangeries			
Production générale	10.76	1.0	
Décoration à la main	36.60	3.4	
Décoration mécanique	19.38	1.8	
Malaxage et remplissage	13.99	1.3	
Reliure			
Production générale	18.30	1.7	
Relief et inspection	81.81	7.6	
Brasseries			
Production générale	7.53	0.7	
Remplissage (bouteilles, cannettes, barils)	13.99	1.3	
Confiserie			
Découpage et emballage	26.91	2.5	
Production générale	13.99	1.3	
Tri et décoration	36.60	3.4	
Mise en conserve			
Démêlage des cannettes	18.30	1.7	
Gradage par couleur	81.81	7.6	

Tâche ou aire	DEU de base Watts par pied carré	DEU de base Watts par mètre carré	Note
Gradage initial	13.99	1.3	
Inspection - contenants	59.20	5.5	
Inspection - aliments	81.81	7.6	
Étiquetage et mise en boîtes	7.53	0.7	
Préparation et mise en conserve	26.91	2.5	
Usines chimiques (voir pétroles)	7.53	0.7	
Produits argileux et ciments			
Émaillage et glaçage, grossiers	36.60	3.4	
Glaçage fin	73.19	6.8	
Production générale	7.53	0.7	
Nettoyage et pressage			
Procédé général	13.99	1.3	
Pressage	39.83	3.7	
Réparations, modifications, inspection et détachage	59.20	5.5	
Industrie du vêtement	53.82	5.0	
Confection			
Production générale	15.07	1.4	
Inspection, pressage, couture et découpage	59.20	5.5	
Empilage et marquage, ateliers	36.60	3.4	
Industrie du coton	10.76	1.0	
Usines de nettoyage et de filtrage au charbon	4.31	0.4	
Produits laitiers			
Tri des bouteilles	13.99	1.3	
Remplissage et inspection	26.91	2.5	
Traitement général	7.53	0.7	
Lavage de l'équipement laitier	26.91	2.5	
Centrales électriques - intérieur			
Aires à accès contrôlé	22.60	2.1	
Aires générales d'opération	6.46	0.6	
Laboratoires	25.83	2.4	
Fabricants d'équipement électrique			
Production générale et essais	26.91	2.5	
Fabrisant de produits explosifs	7.53	0.7	
Moulins à farine			
Production générale	13.99	1.3	
Emballage, nettoyage, vérification	7.53	0.7	
Contrôle des produits	26.91	2.5	
Ateliers de forge	13.99	1.3	
Fonderies			
Fabrication de noyaux et inspection	26.91	2.5	
Aire de cubilot	6.46	0.6	
Inspection soignée	53.82	5.0	
Production générale	10.76	1.0	
Moulage et meulage	26.91	2.5	
Garage - Service			
Aires de réparation	26.91	2.5	
Aires de circulation	6.46	0.6	
Assemblage et production généaux			
Travail moyen	26.91	2.5	
Travail grossier facile à voir	7.53	0.7	
Travail grossier difficile à voir	13.99	1.3	
Verrerie			
Meulage fin, nivelage, polissage	34.44	3.2	
Production générale	10.76	1.0	
Inspection, gravure et décoration	67.81	6.3	
Ganterie			
Production générale	26.91	2.5	
Presse, coupe, couture, inspection	59.20	5.5	
Chapellerie			
Formage, finition, couture	59.20	5.5	
Traitement préliminaire	26.91	2.5	
Inspection			
Difficile	30.14	2.8	
Fine	59.20	5.5	
Ordinaire	15.07	1.4	
Fabrication du fer et de l'acier			
Inspection			
Cassure des plaques noires et des billettes	26.91	2.5	
Plaques d'étain et autres surfaces brillantes	67.81	6.3	
Salle des moteurs	7.53	0.7	
Opérations à fours ouverts	6.46	0.6	

Tableau 3
DEU de base

Tâche ou aire	DEU de base Watts par pied carré	DEU de base Watts par mètre carré	Note
Opérations dans les presses à rouler	10.76	1.0	
Moulins à feuilles d'étain	13.99	1.3	
Joaillerie et montres	67.81	6.3	
Fabrication et travail du cuir			
Coupe, demage et bourrage	13.99	1.3	
Finition et enfoulage	30.14	2.8	
Gradation, assortiment, coupe, enfoulage, couture	81.81	7.6	
Aire de préparation	7.53	0.7	
Presse, enroulage, glaçage	44.13	4.1	
Ateliers mécaniques			
Travail moyen à l'établi et sur machine			
Machines automatiques ordinaires, meulage grossier, frottage moyen et polissage	26.91	2.5	
Travail grossier à l'établi et sur machine	13.99	1.3	
Conditionnement des viandes			
Transformation générale	26.91	2.5	
Abattage	7.53	0.7	
Fabrication du métal (vrac)	6.46	0.6	
Fabrication de peinture	7.53	0.7	
Trempe, vaporisation simple, cuite	13.99	1.3	
Peinture et finition fine à la main	26.91	2.5	
Frottage, peinture ordinaire à la main, finition artistique, pochoir et vaporisation spéciale	15.07	1.4	
Fabrication de boîtes en carton	13.99	1.3	
Fabrication du papier			
Production générale	10.76	1.0	
Inspection	26.91	2.5	
Réenroulage	39.83	3.7	
Usines pétrolières et chimiques			
Procédés généraux	4.31	0.4	
Placage	7.53	0.7	
Polissage et brunissage	30.14	2.8	
Industrie de la volaille			
Poulaillers et éclosoirs	7.53	0.7	
Manutention et expédition des oeufs	13.99	1.3	
Traitement des oeufs	18.30	1.7	
Production d'oeufs	6.46	0.6	
Traitement général de la volaille	22.60	2.1	
Décharge et abattage de la volaille	6.46	0.6	
Imprimerie			
Salle de composition	30.14	2.8	
Typographie	20.45	1.9	
Photogravure	20.45	1.9	
Salles des presses	54.90	5.1	
Fonderies	20.45	1.9	
Produits en caoutchouc, machines			
Production générale	10.76	1.0	
Inspection	59.20	5.5	
Fabrication de pneus de caoutchouc			
Production générale	10.76	1.0	
Inspection, coupe, aboutage	26.91	2.5	
Moulins à scie			
Production générale	6.46	0.6	
Tables de classement et de gradage	26.91	2.5	
Travail de la tôle			
Production générale	13.99	1.3	
Inspection et traçage	59.20	5.5	
Fabrication de chaussures, cuir	53.82	5.0	
Fabrication de chaussures, caoutchouc			
Production générale	10.76	1.0	
Roulage des semelles, doublage, finition	26.91	2.5	
Fabrication des savons	10.76	1.0	
Concassage et sassage	5.38	0.5	
Fabrication de batteries d'accumulateurs	13.99	1.3	
Fabrication d'acier de structure	13.99	1.3	
Raffinage du sucre			
Inspection de la couleur	81.81	7.6	
Gradage	13.99	1.3	
Tests			
Instruments ultrafins, balances, etc.	67.81	6.3	
Généraux	18.30	1.7	
Usines textiles			
Séchage et finition	40.90	3.8	
Production générale	10.76	1.0	
Tordage, tressage, gradage	40.90	3.8	
Produits du tabac			
Production générale	7.53	0.7	
Gradage et tri	59.20	5.5	
Capitonnage - Automobiles, wagons, meubles	26.91	2.5	
Soudage			
Illumination générale	13.99	1.3	
Travail du bois en général	13.99	1.3	
Sports d'intérieur			
Estrades, tous les sports	4.31	0.4	
Badminton			
Club	6.46	0.6	c
Récréatif	4.31	0.4	c
Tournoi	8.61	0.8	c
Basketball			
Collège et professionnel	15.07	1.4	c
Intramural collège et secondaire	8.61	0.8	c
Quilles			
Aires d'approche	4.31	0.4	
Allées	6.46	0.6	
Boxe ou lutte			
Amateur	26.91	2.5	c
Championnat et professionnel	153.82	5.0	c
Gymnases (voir sports particuliers)			
Exhibitions, rencontres	26.91	2.5	
Exercices généraux et récréation	53.82	5.0	
Handball			
Club	8.61	0.8	
Récréatif	6.46	0.6	
Tournoi	15.07	1.4	
Hockey, glace			
Amateur	15.07	1.4	c
Collégial ou professionnel	30.14	2.8	c

Aires et fonctions	Allocation de puissance Watts par mètre courant	Watts par pied courant	Note
Extérieur			e
Entrées			
Privée (largeur de 2 voies)	6.56	2.0	
Publique (largeur de 2 voies)	9.84	3.0	
Entrées avec marquise			
Décorative (magasin, hôtel, théâtre, etc.)	107.64	10.0	g
Utilitaire (hôpitaux, bureaux, ind., etc.)	43.06	4.0	g
Entrées sans marquise	98.43	30.0	
Sorties, avec ou sans marquise	65.62	20.0	
Aire de chargement	3.23	0.3	g
Portes de chargement	65.62	20.0	
Production et traitement à l'extérieur	4.31	0.4	g
Entreposage à l'extérieur	2.15	0.2	g
Parcs de stationnement (plein air)			
Privés	20.0	20.0	h
Publics	30.0	30.0	h

* Valeurs ne servant pas aux fins de la conception car elles ne tiennent pas compte de la forme ni de la grandeur de la pièce.

a Comprend 5,4 watts par mètre carré (0,5 watt par pied carré) pour les tâches spéciales

b Prévision d'un supplément d'éclairage pour le nettoyage

c La superficie brute de plancher comprend jusqu'à 3 mètres (10 pi) encourant l'aire d'activité ou de jeu.

d Utiliser RF-1 pour ces espaces dans la détermination de l'unité de puissance.

e Ces aires et ces activités se rattachent à l'édifice dont il s'agit

f Il est important de déterminer les aires de tâches à l'intérieur de l'espace d'après la grandeur et le nombre de postes de travail.

g Watts par mètre carré ou watts par pied carré

h Watts par espace

Tableau 4
Exemple de feuille de travail de processus de calcul de DEU

A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	M	N	O
Nom ou numéro de la pièce	Description de la tâche visuelle ou affectation générale de la pièce	Postes de travail: Nombre	Aire A= C x 4,65 (50) m2(pi2)	Dimensions de la pièce m2(pi2): L x W / Hauteur de plafond	No. d'identif. de la pièce	Aire de la pièce A, m2(pi2): H / Aire totale des pièce identiques A1= F x G m2	Facteur pièce FP	Facteur d'utilisation de l'espace: ≥ 5 / < 5 / < 4 / < 3 / < 2 = 1.00 / 85 / 70 / 55 / 40; A_1/A_2	SUF	Base DEU (W/m2): Tâche individuelle	Moyenne pondérée	Budget de puissance pour la pièce Watts=GxIxJxKxM	Budget de puissance pour des pièce identiques Watts =FxN
10 A	Classe	—	—	40 x 40 / 9	1	1600	1.05				2.2		3696
11 A	Basketball	—	—	100 x 60 / 25	1	6000	1.0				0.8		4800
11 B	Estrade	—	—	15 x 100 / 25	1	1500	1.0				0.4		600
11 C	Rangement Actif	—	—	10 x 20 / 8	1	200	1.40				0.4		112
12 A	Salle d'op.	—	—	20 x 15 / 8	1	300	1.25				7.6		2850
12 B	Salle de nett.	—	—	15 x 10 / 8	1	150	1.45				2.5		544
12 C	Poste infirmier	—	—	10 x 13 / 8	1	130	1.50				1.4		273
12 D-F	Laboratoire	—	—	10 x 14 / 8	3	140 + 420	1.45				3.2	650	1949
12 G-J	Salle de patient	—	—	10 x 18 / 8	4	180 + 720	1.0				1.4	252	1008
12 K-L	Bureaux / Lecture	3	150	10 x 20 / 8	2	200 + 400	1.40	0.75	1.0		2.2	616	1232
12 M	Entrée d'hôpital	—	—	22 x 20 / 8	1	440	1.20				2.0		1056
12 N	Couloir	—	—	42 x 10 / 8	1	420	1.0				0.6		252
13 A	Court de tennis	—	—	60 x 120 / 35	1	7200	1.0				1.9		13680
14 A	Entrée d'hôtel	—	—	24 x 36 / 8	1	864	1.10				1.1		1045
14 B-C	Chambre d'invités	—	—	12 x 20 / 8	2	240 + 480	1.0				1.4	336	672
14 D	Couloir	—	—	50 x 8 / 8	1	400	1.0				0.6		240
14 E	Couloir	—	—	80 x 8 / 8	1	640	1.0				0.6		384
15 A	Garage			32 x 60 / 20	1	1920	1.45			0.6 / 2.5	1.8		5011
						25784							39404

Tableau 4
Exemple de feuille de travail de processus de calcul de DEU

A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	M	N	O
Nom ou numéro de la pièce	Description de la tâche visuelle ou affectation générale de la pièce	Postes de travail: Nombre	Postes de travail: Aire A= C x 4,65 (50) m2 (pi2)	Dimensions de la pièce m2(pi2): L x W / Hauteur de plafond	No. d'identi. de la pièce	Aire de la pièce A, m2(pi2) H / Aire totale des pièce identiques At= F x G m2	Facteur pièce FP	Facteur d'utilisation de l'espace: ≥ 5 1.00, < 5 .85, < 4 .70, < 3 .55, < 2 .40 — A. A.	SUF	Base DEU (W/m2): Tâche individuelle	Moyenne pondérée	Budget de puissance pour la pièce Watts=GxIxKxM	Budget de puissance pour des pièce identiques Watts =FxN
1A	Entrée	—	—	50 x 50 / 16	1	2500	1.20				1.0		3000
1B	Foyer	—	—	22 x 30 / 8	1	660	1.15				1.0		759
2A	Bibliothèque	—	—	50 x 50 / 9	1	2500	1.05			0.9 / 2.2	1.8		4725
2B	Bureau			10 x 14 / 8	2	140	1.45	0.71	1.0		2.2	447	893
2C	Lecture	2	100			280							
3A	Magasin	—	—	45 x 20 / 9	2	900	1.15			3.8 / 0.9	2.4	2484	4968
4A						1800							
3B	Vitrine	—	—	5 x 20 / 8	2	100	1.70				8.7	1479	2958
4B						200							
3C	Rangement	—	—	10 x 20 / 8	2	200	1.40				0.7	196	392
4C						400							
5A	Ordinateurs	—	—	70 x 45 / 9	1	3150	1.0				1.7		5355
6A	Salle/mach.	—	—	50 x 50 / 10	1	2500	1.0				0.6		1500
6C	Salle/élec.	—	—	18 x 10 / 8	1	180	1.0				0.6		108
6D	Atelier/men.	—	—	20 x 50 / 10	1	1000	1.20				1.3		1560
7A	Salle à manger	—	—	20 x 30 / 9	1	600	1.20				1.4		1008
7B	Cuisine	—	—	20 x 10 / 9	1	200	1.50				1.7		510
8	Toilette	—	—	10 x 18 / 8	4	180	1.40				0.7	176	704
A-D						720							
9A	Burau général	25	1250	40 x 50 / 9	1	2000	1.05	0.63	1.0		2.2		4620
9B	Comptabilité	10	500	25 x 30 / 9	1	750	1.15	0.67	1.0		3.2		2760
9C	Dessin	4	200	20 x 25 / 9	1	500	1.25	0.40	0.70		4.7		2056
9D	Classement Inactif	—	—	10 x 15 / 8	1	150	1.45				0.8		174
9	Bureaux			10 x 10 / 8	5	100	1.60	1.0	1.0		2.2	352	1760
E-I	Lecture	2	100			500							
						20590							39812

Tableau 5
Écart spécifique minimal à l'intérieur des échelles de valeurs

Réf.	Données	Puissance (watts)	Aire m^2 (pi^2)	Guide
Q	Aire brute des planchers			Dimensions extérieures de l'édifice (extérieures à perts compensées)
R	Aire total, espaces intérieurs envisagés			Total de toutes les colonnes H
S	Aire (nette) non envisagée de l'édifice			Q-R
T	Limite de puissance - espace non envisagé			2,15 x somme (0,2 x somme)
U	Limite de puissance - espace envisagé			Somme de la colonne 0 de toutes les pages
V	Limite de puissance intérieur de l'édifice			T + U
W	DEU de base de l'intérieur de l'édifice			V + O watts/m^2 (pi^2)

Tableau 6
Facteurs de pièce

Dimensions (pied)		Hauteur du planfond (pied)										Dimensions (mètres)	
W	L	8	8.5	9	10	11	12	14	16	18	20+		
6	6											1.8	1.8
6	9											1.8	2.7
6	12	1.85										1.8	3.7
6	15	1.75	1.90									1.8	4.6
6	18	1.70	1.80	1.95								1.8	5.5
6	24	1.65	1.75	1.85								1.8	7.3
6	30	1.60	1.70	1.80								1.8	9.1
6	36	1.60	1.65	1.75	1.95							1.8	11.0
6	60	1.55	1.60	1.70	1.85							1.8	18.3
6	60+	1.45	1.50	1.60	1.75	1.90						1.8	18.3+
8	8	1.85										2.4	2.4
8	12	1.65	1.75	1.85								2.4	3.7
8	16	1.55	1.65	1.70	1.90							2.4	4.9
8	20	1.50	1.55	1.65	1.80	1.95						2.4	6.1
8	24	1.45	1.50	1.60	1.75	1.90						2.4	7.3
8	32	1.40	1.45	1.55	1.65	1.80	1.95					2.4	9.8
8	40	1.40	1.45	1.50	1.65	1.75	1.90					2.4	12.2
8	48	1.35	1.45	1.50	1.60	1.75	1.85					2.4	14.6
8	80	1.35	1.40	1.45	1.55	1.65	1.80					2.4	24.4
8	80+	1.30	1.35	1.40	1.50	1.60	1.70	1.90				2.4	24.4+
10	10	1.60	1.70	1.80								3.0	3.0
10	15	1.45	1.50	1.60	1.75	1.90						3.0	4.6
10	20	1.40	1.45	1.50	1.65	1.75	1.90					3.0	6.1
10	25	1.35	1.40	1.45	1.55	1.70	1.80					3.0	7.6
10	30	1.30	1.35	1.40	1.50	1.65	1.75					3.0	9.1
10	40	1.30	1.35	1.40	1.45	1.60	1.70	1.90				3.0	12.2
10	50	1.25	1.30	1.35	1.45	1.55	1.65	1.85				3.0	15.2
10	60	1.25	1.30	1.35	1.45	1.50	1.60	1.80				3.0	18.3
10	100	1.25	1.25	1.30	1.40	1.45	1.55	1.75	1.95			3.0	30.5
10	100+	1.20	1.25	1.25	1.35	1.40	1.50	1.65	1.85			3.0	30.5+
12	12	1.45	1.50	1.60	1.75	1.90						3.7	3.7
12	18	1.35	1.40	1.45	1.55	1.70	1.80					3.7	5.5
12	24	1.30	1.35	1.40	1.45	1.60	1.70	1.90				3.7	7.3
12	30	1.25	1.30	1.35	1.45	1.50	1.60	1.80				3.7	9.1
12	36	1.25	1.30	1.30	1.40	1.50	1.55	1.75				3.7	11.0
12	48	1.20	1.25	1.30	1.35	1.45	1.50	1.70	1.90			3.7	14.6
12	60	1.20	1.25	1.25	1.35	1.40	1.50	1.65	1.85			3.7	18.3
12	72	1.20	1.20	1.25	1.30	1.40	1.45	1.60	1.80			3.7	21.9
12	120	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.55	1.75	1.90		3.7	36.6
12	120+	1.15	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.50	1.65	1.80	1.95	3.7	36.6+
16	16	1.30	1.35	1.40	1.45	1.60	1.70	1.90				4.9	4.9
16	24	1.20	1.25	1.30	1.35	1.45	1.50	1.70	1.90			4.9	7.3
16	32	1.20	1.20	1.25	1.30	1.35	1.45	1.60	1.75	1.95		4.9	9.8
16	40	1.15	1.20	1.20	1.25	1.35	1.40	1.55	1.70	1.85		4.9	12.2
16	48	1.15	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.50	1.65	1.80	1.95	4.9	14.6
16	64	1.15	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.45	1.55	1.70	1.85	4.9	19.5
16	80	1.10	1.15	1.15	1.20	1.25	1.30	1.40	1.55	1.65	1.80	4.9	24.4
16	96	1.10	1.15	1.15	1.20	1.25	1.30	1.40	1.50	1.65	1.75	4.9	29.3
16	160	1.10	1.10	1.15	1.20	1.20	1.25	1.35	1.45	1.60	1.70	4.9	48.8
16	160+	1.10	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.40	1.50	1.60	4.9	48.8+
20	20	1.20	1.25	1.25	1.35	1.40	1.50	1.65	1.85	2.00	2.00	6.1	6.1
20	30	1.15	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.50	1.65	1.80	1.95	6.1	9.1
20	40	1.10	1.15	1.15	1.20	1.25	1.30	1.40	1.55	1.65	1.80	6.1	12.2
20	50	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	6.1	15.2
20	60	1.10	1.10	1.15	1.15	1.20	1.25	1.35	1.45	1.55	1.65	6.1	18.3
20	80	1.10	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.40	1.50	1.60	6.1	24.4
20	100	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.20	1.30	1.40	1.45	1.55	6.1	30.5
20	120	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.20	1.30	1.35	1.45	1.55	6.1	36.6
20	200	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.35	1.40	1.50	6.1	61.0
20	200+	1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.15	1.20	1.30	1.35	1.45	6.1	61.0+
		2.4	2.6	2.7	3.0	3.4	3.7	4.3	4.9	5.5	6.1+	W	L
		Hauteur du planfond (mètres)										Dimensions (mètres)	

Tableau 6
Facteurs de pièce

Dimensions (pied)		Hauteur du planfond (pied)											
W	L	8	8.5	9	10	11	12	14	16	18	20+		
24	24	1.15	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.50	1.65	1.80	1.95	7.3	7.3
24	36	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.25	1.35	1.45	1.60	1.70	7.3	11.0
24	48	1.10	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.40	1.50	1.60	7.3	14.6
24	60	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.20	1.30	1.35	1.45	1.55	7.3	18.3
24	72	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.35	1.40	1.50	7.3	21.9
24	96	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.25	1.30	1.40	1.45	7.3	29.3
24	120	1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.15	1.20	1.30	1.35	1.45	7.3	36.6
24	144	1.05	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.35	1.40	7.3	43.9
24	240	1.05	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	7.3	73.2
24	240+		1.05	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	7.3	73.2+
30	30	1.10	1.10	1.15	1.15	1.20	1.25	1.35	1.45	1.55	1.65	9.1	9.1
30	45	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.35	1.40	1.50	9.1	13.7
30	60	1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.15	1.20	1.30	1.35	1.45	9.1	18.3
30	75	1.05	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.40	9.1	22.9
30	90		1.05	1.05	1.05	1.10	1.10	1.20	1.25	1.30	1.35	9.1	27.4
30	120		1.05	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	9.1	36.6
30	150			1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	9.1	45.7
30	180			1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	9.1	54.9
30	300				1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	9.1	91.4
30	300+				1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.20	1.20	9.1	91.4+
40	40	1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.15	1.20	1.30	1.35	1.45	12.2	12.2
40	60		1.05	1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	12.2	18.3
40	80				1.05	1.05	1.10	1.15	1.20	1.20	1.25	12.2	24.4
40	100				1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	12.2	30.5
40	120				1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.20	1.20	12.2	36.6
40	160					1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	12.2	48.8
40	200					1.05	1.05	1.10	1.10	1.15	1.20	12.2	61.0
40	240					1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.20	12.2	73.2
40	400						1.05	1.05	1.10	1.15	1.15	12.2	122.0
40	400+							1.05	1.10	1.10	1.15	12.2	122+
60	60				1.05	1.05	1.05	1.10	1.15	1.20	1.20	18.3	18.3
60	90						1.05	1.05	1.10	1.15	1.15	18.3	27.4
60	120							1.05	1.10	1.10	1.15	18.3	36.6
60	150							1.05	1.05	1.10	1.10	18.3	45.7
60	180							1.05	1.05	1.10	1.10	18.3	54.9
60	240								1.05	1.05	1.10	18.3	73.2
60	300								1.05	1.05	1.10	18.3	91.4
60	360								1.05	1.05	1.10	18.3	110.0
60	600								1.05	1.05	1.05	18.3	183.0
60+	600+									1.05	1.05	18.3	183+
		2.4	2.6	2.7	3.0	3.4	3.7	4.3	4.9	5.5	6.1+	W	L
		Hauteur du planfond (mètres)										Dimensions (pied)	

Tableau 7
Catégories de luminance couramment recommandées

Aire d'activité	Catégories de luminance	Réflexion de voilage
Comptabilité		
(voir tâches particulières)		
Copies		
Ditto [5]	E	*
Lecteur de microfiches [1]	B	**
Miméographe	D	
Photographies, détail mod.	E	**
Copie thermique, mauvaise copie	F	*
Xérographie, 3e génération 5 et plus	E	
Xérographie		
Dessin		
Dessin sur mylar:		
Media de grand contraste:encre de Chine, pointes plastiques, pointes de graphite molles	E	*
Media de faible contraste: pointes de graphite dures	F	*
Vellum: grand contraste	E	
faible contraste	F	
Papier traceur: grand contraste	E	*
faible contraste	F	
Superposition [2]	C	
Tables d'éclairage	E	
Imprimés: lignes bleus	E	
bleus	E	
sepia	F	
Tâches en informatique		
Écrans de terminaux [1]	B	**
Imprimante à impact: bon ruban	D	
mauvais ruban [5]	E	
2e carbone ou plus	E	
Imprimante à jet d'encre	D	
Lecture de clavier	D	
Salles des machines: opérations actives	D	
Stockage des bandes	D	
Aire des machines	C	
Entretien d'équipement [3]	E	
Imprimante thermique	E	
Classement		
(voir tâches particulières)		
Aires générales et publiques		
Aires d'AV	D	
Salles de conférences	D	
(vue importante, voir tâches particulières)		
Aires de présentation	C	
Aires de duplication et d'impression offset	D	
Ascenceurs	C	
Escalateurs	C	
Aires de premiers soins	E	
Services alimentaires		
Corridors	B	
Espaces pour l'entretien commercial	C	

Tableau 7
Catégories de luminance couramment recommandées

Aire d'activité	Catégories de luminance	Réflexion de voilage
Bibliothèques		
Entrées	C	
Fabricaton de modèles	F	
Tri de la poste	E	
Salles de machines: opération	B	
entretien [3]	E	
Salle de réception	C	
Salles de repos	C	
Escalier	B	
Salles des services	B	
Conception et matériaux graphiques		
Choix des couleurs [4]	F	
Dessins de cartes	F	
Graphiques	E	
Tracé	F	
Montage	F	
Photographie, détails mod.	E	**
Manuscrits		
Crayon à pointe no 2 ou plus molle	D	*
Crayon à pointe no 3	E	*
Crayon à pointe no 4 ou plus dure	F	*
Stylo à bille	D	
Stylo à pointe feutre	D	
Copies carbones à la main [5]	E	
Couleurs non photographiques	F	
Imprimerie		
6 pt [5]	E	*
8 et 10 pt	D	*
Magazines luisants	D	**
Cartes	E	
Journaux	D	
Originaux dactylographiés	D	
2e copie carbone ou plus dactylographiée [5]	E	
Bottins téléphoniques	E	

1 Les réflexions de voilage sont possibles sur les surfaces vitrées. Il peut s'avérer de considérer les facteurs pondérés positifs comme négatifs afin d'obtenir un bon éclairage.
2 Facteurs de perte: superpositions — ajouter un facteur pondéré de 1 pour chaque superposition; matériel usagé — évaluer des facteurs supplémentaires.
3 Seulement en cours d'entretien. Peut être obtenu avec un système d'éclairage général, concentré ou portatif.
4 La qualité de la couleur de la source lumineuse pourra être importante pour l'assortiment des couleurs.
5 Concevoir des niveaux plus élevés d'éclairage pour les tâches de faible qualité ne doit être entrepris qu'après avoir établi que la qualité de la tâche ne peut pas être améliorée. Si elle ne peut pas être éliminée, on doit alors considérer avec soin le facteur «temps et importance» avant de le laisser dicter le choix de niveau de luminance.
* Tâche sujette aux réflexions de voilage. La luminance donnée n'est pas une valeur IES. Un manque d'expérience dans l'utilisation des valeurs cibles IES demande l'usage direct de la méthode d'illumination.
** Particulièrement sujette aux réflexions de voilage. Il pourra s'avérer nécessaire de protéger la tâche ou d'en changer l'orientation.

Source: Manuel IES sur l'éclairage, 1981

Tableau 8
Données relatives à la DEU tirées de la feuille de travail

a. Pour les catégories de luminance de A jusqu'à C inclusivement			
Caractéristiques de la pièce et des occupants	Facteur de pondération		
	-1	0	+1
Age des occupants	inférieur à 40	de 40 à 55	supérieure à 55
Réflectance de surface de la pièce*	supérieure à 70 %	de 30 à 70 %	inférieure à 70 %

b. Pour les catégories de luminance de D jusqu'à I inclusivement			
Caractéristiques des tâches et des travailleurs	Facteur de pondération		
	-1	0	+1
Age des travailleurs	inférieur à 40	de 40 à 55	supérieure à 55
Vitesse et/ou précision**	sans importance	importante	critique
Réflectance de l'arrière plan de la tâche***	supérieure à 70 %	de 30 à 70 %	inférieur à 70 %

* Réflectances superficielles moyennes pondérées, comprenant les réflectances des murs, des planchers et des plafonds, si elles embrassent une grande proportion de l'aire de la tâche ou l'entourage visuel. Exemple: dans un foyer d'ascenseur, où la hauteur du plafond est de 7,5 m (25 pi), ni la tâche, ni l'environnement visuel n'embrassent le plafond, de sorte que seules les réflectances du plancher et du mur seraient considérées.

** Quand il s'agit de déterminer si la vitesse et/ou la précision est sans importance, importante ou critique, il faut se poser les questions suivantes: Quelles sont les limites de temps? Dans quelle mesure est-il important d'accomplir rapidement la tâche? Est-ce que les erreurs peuvent compromettre la sécurité d'une situation ou d'un produit? Les erreurs réduiront-elles la productivité ou seront-elles onéreuses? Ainsi, dans la lecture d'agrément, il n'y a pas de limite de temps puisqu'il n'importe pas de lire rapidement. Les erreurs ne seront pas onéreuses et elles n'ont rien à voir avec la sécurité. Donc, la vitesse et/ou la précision n'importent pas. Cependant, quand un pharmacien lit une ordonnance, la précision est indispensable parce que les erreurs peuvent compromettre la sécurité et le temps a aussi son importance pour conserver l'achalandage.

*** L'arrière-plan d'une tâche et la partie de la tâche qui contient la représentation visuelle significative. Par exemple, dans la présente page, la représentation visuelle significative comprend chaque lettre qui s'associe avec les autres pour former des mots et des phrases.

Tableau 9
Types de lampes

Type de lampe	Efficacité lumineuse (lumens/watt)	Durée (Heures)	% de dépréciation (lumens)
Incandescente	9 à 22	750 à 3,500	4 à 22
Fluorescente	45 à 95	7,500 à 20,000	11 à 28
Vapeur de sodium basse pression	62 à 150	12,000 à 18,000	6 à 7
Vapeur de mercure	34 à 61	16,000 à 24,000	12 à 22
Halongénures	80 à 115	7,500 à15,000	13 à 22
Vapeur de sodium haute pression	80 à 140	12,000 à 24,000	8 à 10

Tableau 10
Écrans d' appareils d' éclairage

Genre d' appareil d' éclairage	PCV*	% d' efficacité
Volet de métal foncé	70 à 90	25 à 40
Volet métallique blanc	65 à 85	35 à 45
Volet de plastique	50 à 70	45 à 55
Volet parabolique	99	35 à 45
Lentille teintée	65 à 95	30 à 65
Lentille translucide	50 à 85	45 à 70
Diffuseur	40 à 50	40 à 60
Polarizeur	60 à 70	55 à 80

Tableau 11
Pourcentage d'efficacité des réflectances de cavités de plafond ou de plancher pour diverses combinaisons de réflectances

Réflectance de base* en pourcentage	90										80										70										60										50									
Réflectance de mur en pourcentage	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Rapport de cavité																																																	
0.2	89	88	88	87	86	85	85	84	84	82	79	78	78	77	77	76	76	75	74	72	70	69	68	68	67	67	66	66	65	64	60	59	59	59	58	57	56	56	55	53	50	50	49	49	48	48	47	46	46	44
0.4	88	87	86	85	84	83	81	80	79	76	79	77	76	75	74	73	72	71	70	68	69	68	67	66	65	64	63	62	61	58	60	59	59	58	57	55	54	53	52	50	50	49	48	48	47	46	45	45	44	42
0.6	87	86	84	82	80	79	77	76	74	73	78	76	75	73	71	70	68	66	65	63	68	67	65	64	63	61	59	58	57	54	60	58	57	56	55	53	51	51	50	48	50	48	47	46	45	44	43	42	41	38
0.8	87	85	82	80	77	75	73	71	69	67	78	75	73	71	69	67	65	63	61	57	68	66	64	62	60	58	56	55	53	50	59	57	56	55	54	51	48	47	46	43	50	48	47	45	44	42	40	39	38	36
1.0	86	83	80	77	75	72	69	66	64	62	77	74	72	69	67	65	62	60	57	55	68	65	62	60	58	55	53	52	50	47	59	57	55	53	51	48	45	44	43	41	50	48	46	44	43	41	39	37	36	34
1.2	85	82	78	75	72	69	66	63	60	57	76	73	70	67	64	61	58	55	53	51	67	64	61	59	57	54	50	48	46	44	58	56	54	51	49	46	44	42	40	38	50	47	45	43	41	39	38	35	34	29
1.4	85	80	77	73	69	65	62	59	57	52	76	72	68	65	62	59	55	53	50	48	67	63	60	58	55	51	47	45	44	41	58	56	53	49	47	44	41	39	38	25	50	47	45	42	40	38	35	34	32	27
1.6	84	79	75	71	67	63	59	56	53	50	75	71	67	63	60	57	53	50	47	44	67	62	58	56	53	47	45	43	41	38	58	55	52	48	45	42	39	37	35	33	50	47	44	41	39	36	33	32	30	26
1.8	83	78	73	69	64	60	56	53	50	48	75	70	66	62	58	54	50	47	44	41	66	61	58	54	51	46	42	40	38	35	58	55	51	47	44	40	37	35	33	31	50	48	43	40	38	35	31	30	28	25
2.0	83	77	72	67	62	58	53	50	47	43	74	69	64	60	56	52	48	45	41	38	66	60	56	52	49	45	40	38	36	33	58	54	50	46	43	39	35	33	31	29	50	46	43	40	37	34	30	28	26	24
2.2	82	76	70	65	59	54	50	47	44	40	74	68	63	58	54	49	45	42	38	35	66	60	55	51	48	43	38	36	34	32	58	53	49	45	42	37	34	31	29	28	50	46	42	38	36	33	29	27	24	22
2.4	82	75	69	64	58	53	48	45	41	37	73	67	61	56	52	47	43	40	36	33	65	60	54	50	46	41	37	35	32	30	58	53	48	44	41	36	32	30	27	26	50	46	42	37	35	31	27	25	23	21
2.6	81	74	67	62	56	51	46	42	38	35	73	66	60	55	50	45	41	38	34	31	65	59	54	49	45	40	35	33	30	28	58	53	48	43	39	35	31	28	26	24	50	46	41	37	34	30	26	23	21	20
2.8	81	73	66	60	54	49	44	40	36	34	73	65	59	53	48	43	39	36	32	29	65	59	53	48	43	38	33	30	28	26	58	53	47	43	38	34	29	27	24	22	50	46	41	38	33	29	25	22	20	19
3.0	80	72	64	58	52	47	42	38	34	30	72	65	58	52	47	42	37	34	30	27	64	58	52	47	42	37	32	29	27	24	57	52	46	42	37	32	28	25	23	20	50	45	40	36	32	28	24	21	19	17
3.2	79	71	63	56	50	45	40	36	32	28	72	65	57	51	45	40	35	33	28	25	64	58	51	46	40	36	31	28	25	23	57	51	45	41	36	31	27	23	22	18	50	44	39	35	31	27	23	20	18	16
3.4	79	70	62	54	48	43	38	34	30	27	71	64	56	49	44	39	34	32	27	24	64	57	50	45	39	35	29	27	24	22	57	51	45	40	35	30	26	23	20	17	50	44	39	35	30	26	22	19	17	15
3.6	78	69	61	53	47	42	36	32	28	25	71	63	54	48	43	38	32	30	25	23	63	56	49	44	38	33	28	25	22	20	57	50	44	39	34	29	25	22	19	16	50	44	39	34	29	25	21	18	16	14
3.8	78	69	60	51	45	40	35	31	27	23	70	62	53	47	41	36	31	28	24	22	63	56	49	43	37	32	27	24	21	19	57	50	43	38	33	29	24	21	19	15	50	44	38	34	29	25	21	17	15	13
4.0	77	69	58	51	44	39	33	29	25	22	70	61	53	46	40	35	30	26	22	20	63	55	48	42	36	31	26	23	20	17	57	49	42	37	32	28	23	20	18	14	50	44	38	33	28	24	20	17	15	12
4.2	77	67	57	50	43	37	32	28	24	21	69	60	52	45	39	34	29	25	21	18	62	55	47	41	35	30	25	22	19	16	56	49	42	37	32	27	22	19	17	14	50	43	37	32	28	24	20	17	14	12
4.4	76	67	56	49	42	36	31	27	23	20	69	60	51	44	38	33	28	24	20	17	62	54	46	40	34	29	24	21	18	15	56	49	42	36	31	27	22	19	16	13	50	43	37	32	27	23	19	16	13	11
4.6	76	66	55	47	40	35	30	26	22	19	68	59	50	43	37	32	27	23	19	15	62	53	45	39	33	28	24	21	17	14	56	48	41	35	30	26	21	18	16	13	50	43	36	31	26	22	18	15	13	10
4.8	75	65	54	46	39	34	28	25	21	18	68	58	49	42	36	31	26	22	18	14	62	53	45	38	32	27	23	20	16	13	56	48	41	34	29	25	21	18	15	12	50	43	36	31	26	22	18	15	12	09
5.0	75	59	53	45	38	33	28	24	20	16	68	58	48	41	35	30	25	21	18	14	61	52	44	36	31	26	22	19	16	12	56	48	40	34	28	24	20	17	14	11	50	42	35	30	25	21	17	14	12	09
6.0	73	61	49	41	34	29	24	20	16	11	66	55	44	38	31	27	22	19	15	10	60	51	41	35	28	24	19	16	13	09	55	45	37	31	25	21	17	14	11	07	50	42	34	28	23	19	15	13	10	06
7.0	70	58	45	38	30	27	21	18	14	08	64	53	41	35	28	24	19	16	12	07	58	48	38	32	26	22	17	14	11	08	54	43	35	30	24	20	15	12	09	05	49	41	32	27	21	18	14	11	08	05
8.0	68	55	42	35	27	23	18	15	12	06	62	50	38	32	25	21	17	14	11	05	57	46	35	29	23	19	15	13	10	05	53	42	33	28	22	18	14	11	08	04	49	40	30	25	19	16	12	10	07	03
9.0	66	52	38	31	25	21	16	14	11	05	61	49	36	30	23	19	15	13	10	04	56	45	33	27	21	18	14	12	09	04	52	40	31	26	20	16	12	10	07	03	48	39	29	24	18	15	11	09	07	03
10.0	65	51	36	29	22	19	15	11	09	04	59	48	33	27	21	18	14	11	08	03	55	43	31	25	19	16	12	10	08	03	51	39	29	24	18	15	11	09	07	02	47	37	27	22	17	14	10	08	06	02

Réflectance de base* en pourcentage	40										30										20										10										0									
Réflectance de mur en pourcentage	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Rapport de cavité																																																	
0.2	40	40	39	39	39	38	38	37	36	36	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27	21	20	20	20	20	20	19	19	19	17	11	11	11	10	10	10	09	09	09	02	02	02	01	01	01	01	00	00	0
0.4	41	40	39	39	38	37	36	35	34	34	31	31	30	30	29	28	28	27	26	25	22	21	20	20	20	19	19	18	18	16	12	11	11	11	11	10	10	09	09	08	04	03	03	02	02	02	01	01	00	0
0.6	41	40	39	38	37	36	34	33	32	31	32	31	30	29	28	27	26	26	25	23	23	21	21	20	19	19	18	18	17	15	13	13	12	11	11	10	10	09	08	08	05	05	04	03	03	02	02	01	01	0
0.8	41	40	38	37	36	35	33	32	31	29	32	31	30	29	28	26	25	25	23	22	24	22	21	20	19	19	18	17	16	14	15	14	13	12	11	10	10	09	08	07	07	06	05	04	04	03	02	02	01	0
1.0	42	40	38	37	35	33	32	31	29	27	33	32	30	29	27	25	24	23	22	20	25	23	22	20	19	18	17	16	15	13	16	14	13	12	12	11	10	09	08	07	08	07	06	05	04	03	02	01	0	
1.2	42	40	38	36	34	32	30	29	27	25	33	32	30	28	27	25	23	22	21	19	25	23	22	20	19	17	17	16	14	12	17	15	14	13	12	11	10	09	07	06	10	08	07	06	05	04	03	02	01	0
1.4	42	39	37	35	33	31	29	27	25	23	34	32	30	28	26	24	22	21	19	18	26	24	22	20	18	17	16	15	13	12	18	16	14	13	12	11	10	09	07	06	11	09	08	07	06	04	03	02	01	0
1.6	42	39	37	35	32	30	27	25	23	22	34	33	29	27	25	23	22	20	18	17	26	24	22	20	18	17	16	15	13	11	19	17	15	14	12	11	09	08	07	06	12	10	09	07	06	05	03	02	01	0
1.8	42	38	36	34	31	29	26	24	22	21	35	33	29	27	25	23	21	19	17	16	27	25	23	20	18	17	15	14	12	10	19	17	15	14	13	11	09	08	06	05	13	11	09	08	07	05	04	03	01	0
2.0	42	38	36	34	31	28	25	23	21	19	35	33	29	26	24	22	20	18	16	14	26	25	23	20	18	16	15	13	11	09	20	18	16	14	13	11	09	08	06	05	14	12	10	09	07	05	04	03	01	0
2.2	42	38	36	33	30	27	24	22	19	18	36	32	29	26	24	22	19	17	15	13	28	25	23	20	18	16	14	12	10	09	20	19	16	14	13	11	09	07	06	05	15	13	11	09	07	06	04	03	01	0
2.4	43	38	35	33	28	27	24	21	18	17	36	32	28	26	24	22	19	18	14	12	28	26	23	20	18	16	14	12	10	08	22	19	17	15	13	11	09	07	06	05	16	13	11	09	08	06	04	03	01	0
2.6	43	39	35	32	29	26	23	20	17	15	36	32	28	25	23	21	18	16	14	12	28	26	23	20	18	16	14	11	09	08	23	20	17	15	13	11	09	07	06	04	17	14	12	10	08	06	05	03	02	0
2.8	43	38	35	32	28	25	22	19	16	14	37	33	28	25	23	21	17	15	13	11	30	27	23	20	18	15	13	11	09	07	23	20	18	16	13	11	09	07	05	04	17	15	13	10	08	07	05	03	02	0
3.0	43	39	35	31	27	24	21	18	16	13	37	33	28	25	22	20	17	15	12	10	30	27	23	20	17	15	13	11	09	07	24	21	18	16	13	11	09	07	05	03	18	16	13	11	09	07	05	03	02	0
3.2	43	39	35	31	27	23	20	71	15	13	37	33	29	25	22	19	16	14	12	10	31	27	23	20	17	15	12	11	09	08	25	21	18	16	13	11	09	07	05	03	19	16	14	11	09	07	05	03	02	0
3.4	43	39	34	30	26	23	20	17	14	12	37	33	29	25	22	19	16	14	11	09	31	27	23	20	17	15	12	10	08	06	26	22	18	16	13	11	09	07	05	03	20	17	14	12	09	07	05	03	02	0
3.6	44	39	34	30	26	22	19	16	14	11	38	33	29	24	21	18	15	13	10	09	32	27	23	20	17	15	12	10	08	06	26	22	19	16	13	11	09	06	04	03	20	17	15	12	10	08	05	04	02	0
3.8	44	38	33	29	25	22	18	16	13	10	38	33	28	24	21	18	15	13	10	08	32	28	23	20	17	15	12	10	07	05	27	23	19	17	14	11	09	06	04	02	21	18	15	12	10	08	05	04	02	0
4.0	44	38	33	28	25	21	18	15	12	10	38	33	28	24	21	18	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	05	27	23	20	17	14	11	09	06	04	02	22	18	15	13	10	08	04	02	0	
4.2	44	38	33	28	24	21	17	15	12	10	38	33	28	24	20	17	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	09	06	04	02	22	19	16	13	10	08	06	04	02	0
4.4	44	38	33	28	24	20	17	14	11	08	38	33	28	24	20	17	14	11	08	06	34	28	24	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	08	06	04	02	23	19	16	13	10	08	06	04	02	0
4.6	44	38	32	28	23	19	16	14	11	08	38	33	28	24	20	17	13	10	08	06	34	29	24	20	17	14	11	09	07	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	23	20	17	13	11	08	06	04	02	0
4.8	44	38	32	27	22	19	16	13	10	08	38	33	28	24	20	17	13	10	08	05	35	29	24	20	17	13	10	08	06	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	24	20	17	14	11	08	06	04	02	0
5.0	45	38	31	27	22	19	15	13	10	07	39	33	28	24	19	16	13	10	08	05	35	29	24	20	16	13	10	08	06	04	30	25	20	17	14	11	08	06	04	02	25	21	17	14	11	08	06	04	02	0
6.0	44	37	30	25	20	17	13	11	08	05	38	33	27	23	18	15	11	09	06	04	36	30	24	20	16	13	10	08	05	02	31	26	21	18	14	11	08	06	03	01	27	23	18	15	12	09	06	04	02	0
7.0	44	36	29	24	19	16	12	10	07	04	40	33	26	22	17	14	10	08	05	03	36	30	24	20	15	12	09	07	04	02	32	27	21	17	13	11	08	06	03	01	28	24	19	15	12	09	06	04	02	0
8.0	44	35	28	23	18	15	11	09	06	03	40	33	26	21	16	13	09	07	04	02	37	30	23	19	15	12	08	06	03	01	33	27	21	17	13	10	07	05	03	01	30	25	20	15	12	09	06	04	02	0
9.0	44	35	26	21	16	13	10	08	05	02	40	33	25	20	15	12	09	07	04	02	37	29	23	19	14	11	08	06	03	01	34	28	21	17	13	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	0
10.0	43	34	25	20	15	12	08	07	05	02	40	32	24	19	14	11	08	06	03	01	37	29	22	18	13	10	07	05	03	01	34	28	21	17	12	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	0

* Plaond, plancher ou plancher de cavité

Tableau 12
Données sur les lampes fluorescentes

Type	No de la lampe	Watts	Longueur (po)	Durée à 3 heures par amorçage	Nombre initial de lumens	Courant de la lampe (mA)	Nombre initial de lumens de la lampe par watt	Lumens à 70% de la durée
Préchauffage	F14T8CW	14	15	7.500	650	420	46	520
	F14T12CW	14	15	7.500	675	390	48	555
	F15T8CW	15	18	7.500	870	300	58	690
	F15T12CW	15	18	9.000	800	330	53	650
	F20T12CW	20	24	9.000	1.250	380	63	1.060
Amorçage rapide et préchauffage	F40CW	40	48	20.000	3.150	425	79	2.650
	F40WW	40	48	20.000	3.200	425	80	2.690
	F40CWX	40	48	20.000	2.200	425	55	1.670
	F40WWX	40	48	20.000	2.150	425	54	1.635
	F40ES	34	48	20.000	2.750	450	81	2.310
Amorçage instantané	F48T12CW	39	48	9.000	3.000	425	77	2.490
	F72T12CW	55	72	12.000	4.600	425	84	4.090
	F96T12CW	75	96	12.000	6.300	425	84	5.610
	F64T6CW	40	64	7.500	2.800	200	70	2.160
	F72T8CW	35	72	7.500	3.000	200	86	2.490
	F96T8CW	50	96	7.500	4.200	200	84	3.740
	F96T12ES	60	96	12.000	5.600	440	93	4.985
Amorçage rapide grand rendement	F48T12CWHO	60	48	12.000	4.300	800	72	3.525
	F72T12CWHO	85	72	12.000	6.650	800	78	5.455
	F96T12CWHO	110	96	12.000	9.200	800	84	7.545
	F96T12ESHO	95	96	12.000	8.300	810	87	6.805
Amorçage rapide très grand rendement	F48T12CW1500	115	48	10.000	6.800	1.500	59	4.690
	F72T12CW1500	160	72	10.000	10.900	1.500	68	7.850
	F96T12CW1500	215	96	10.000	15.000	1.500	70	12.300
	F96T12ES1500	195	96	10.000	14.000	1.580	72	10.100

CONVERSIONS COURANTES

1 baril (35 gal imp.) (42 gal U.S.)	= 159,1 litres	1 kilowatt-heure	= 3600 kilojoules
1 gallon (imp.)	= 1,20094 gallon (U.S.)	1 Newton	= 1 Kg-m/s^2
1 cheval vapeur (chaudière)	= 9809,6 watts	1 thermie	= 10^5 Btu
1 cheval vapeur	= 2545 Btu/heure	1 tonne (réfrigérant)	= 12002,84 Btu/heure
1 cheval vapeur	= 0,746 kilowatts	1 tonne (réfrigérant)	= 3516,8 watts
1 joule	= 1 N-m	1 watt	= 1 joule/seconde
Kelvin	= (°C + 273,15)	degré Rankine	= (°F + 459,67)

Cubes		Carrés	
1 v^3	= 27 pi^3	1 v^2	= 9 pi^2
1 pi^3	= 1728 po^3	1 pi^2	= 144 po^2
1 cm^3	= 1000 mm^3	1 cm^2	= 100 mm^2
1 m^3	= 10^6 cm^3	1 m^2	= 10000 cm^2
1 m^3	= 1000 L		

PRÉFIXES SI

Préfixe	Symbole	Valeur numérique	Exposant
téra	T	1 000 000 000 000	10^{12}
giga	G	1 000 000 000	10^9
méga	M	1 000 000	10^6
kilo	k	1 000	10^3
hecto	h	100	10^2
déca	da	10	10^1
déci	d	0,1	10^{-1}
centi	c	0,01	10^{-2}
milli	m	0,001	10^{-3}
micro	u	0,000 001	10^{-6}
nano	n	0,000 000 001	10^{-9}
pico	p	0,000 000 000 001	10^{-12}

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS MÉTRIQUES EN UNITÉS IMPÉRIALES

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
ampère/centimètre carré	A/cm^2	ampère/pouce carré	A/po^2	6,452
degré Celsius	°C	degré Fahrenheit	°F	(°C × 9/5) + 32
centimètre	cm	pouce	po	0,3937
centimètre cube	cm^3	pouce cube	po^3	0,06102
mètre cube	m^3	pied cube	pi^3	35,314
gramme	g	once	oz	0,03527
gramme	g	livre	lb	0,0022
gramme/litre	g/L	livre/pied cube	lb/pi^3	0,06243
joule	J	Btu	Btu	$9,480 \times 10^{-4}$
joule	J	pied-livre	pi-lb	0,7376
joule	J	cheval vapeur-heure	cv-h	$3,73 \times 10^{-7}$
joule/mètre, (Newton)	J/m, N	livre	lb	0,2248
kilogramme	kg	livre	lb	2,205
kilogramme	kg	tonne (longue)	tonne	$9,842 \times 10^{-4}$
kilogramme	kg	tonne (courte)	tn	$1,102 \times 10^{-3}$
kilomètre	km	mille	mille	0,6214
kilopascal	kPa	atmosphère	atm	$9,87 \times 10^{-3}$
kilopascal	kPa	pouce de mercure (32°F)	po de Hg	0,2953
kilopascal	kPa	pouce d'eau (4°C)	po d'H_2O	4,0147
kilopascal	kPa	livre/pouce carré	lb/po^2	0,1450
kilowatt	kW	pied-livre/seconde	pi-lb/s	737,6
kilowatt	kW	cheval vapeur	cv	1,341
kilowatt-heure	kWh	Btu	Btu	3413
litre	L	pied cube	pi^3	0,03531
litre	L	gallon (imp.)	gal (imp.)	0,21998
litre	L	gallon (U.S.)	gal (U.S.)	0,2642
litre/seconde	L/s	pied cube/minute	pi^3/min	2,1186
lumen/mètre carré	lm/m^2	lumen par pied carré	lm/pi^2	0,09290
lux, lumen/mètre carré	lx, lm/m^2	pied bougie	pi-b	0,09290
mètre	m	pied	pi	3,281
mètre	m	verge	yd	1,09361
partie par million	ppm	grain/gallon (imp.)	gr/gal (imp.)	0,07
partie par million	ppm	grain/gallon (U.S.)	gr/gal (U.S.)	0,05842
perméance (métrique)	PERM	perméance (imp.)	perm	0,01748
centimètre carré	cm^2	pouce carré	po^2	0,1550
mètre carré	m^2	pied carré	pi^2	10,764
mètre carré	m^2	verge carré	v^2	1,196
tonne (métrique)	t	livre	lb	2204,6
watt	W	Btu/heure	Btu/h	3,413
watt	W	lumen	lm	668,45

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS IMPÉRIALES EN UNITÉS MÉTRIQUES

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
ampère/po^2	A/po^2	ampère/cm^2	A/cm^2	0,1550
atmosphère	atm	kilopascal	kPa	101,325
British Thermal Unit	Btu	joule	J	1054,8
Btu	Btu	kilogramme-mètre	kg-m	107,56
Btu	Btu	kilowatt-heure	kWh	$2{,}928 \times 10^{-4}$
Btu/heure	Btu/h	watt	W	0,2931
calorie, gramme	cal ou	g-cal joule	J	4,186
chaîne	chaîne	mètre	m	20,11684
pied cube	pi^3	mètre cube	m^3	0,02832
pied cube	pi^3	litre	L	28,32
pied cube/minute	pi^3/m	litre/seconde	L/s	0,47195
cycle/seconde	c/s	Hertz	Hz	1,00
degré Fahrenheit	°F	degré Celsius	°C	(°F-32)/1,8
pied	pi	mètre	m	0,3048
pied bougie	pi-b	lux, lumen/ mètre carré	lx, lm/m^2	10,764
pied lambert	pi-L*	candela/mètre carré	cd/m^2	3,42626
pied-livre	pi-lb	joule	J	1,356
pied-livre	pi-lb	kilogramme-mètre	kg-m	0,1383
pied livre/seconde	pi-lb/s	kilowatt	kW	$1{,}356 \times 10^{-3}$
gallon (imp.)	gal (imp.)	litre	L	4,546
gallon (U.S.)	gal (U.S.)	litre	L	3,785
grain/gallon (imp.)	gr/gal(imp.)	partie par million	ppm	14,286
grain/gallon (U.S.)	gr/gal(U.S.)	partie par million	ppm	17,118
cheval vapeur	cv	watt	W	745,7
cheval vapeur-heure	cv-h	joule	J	$2{,}684 \times 10^{6}$
pouce	po	centimètre	cm	2,540
pouce de mercure (32°F)	po de Hg	kilopascal	kPa	3,386
pouce d'eau (4°C)	po d'H_2O	kilopascal	kPa	0,2491

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS IMPÉRIALES EN UNITÉS MÉTRIQUES (CONT.)

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
lambert	L*	candela/mètre carré	cd/m^2	3,183
lumen/pied carré	lm/pi^2	lumen/mètre carré	lm/m^2	10,76
lumen	lm	watt	W	0,001496
mile	mille	kilomètre	km	1,6093
once	oz	gramme	g	28,35
perm (0°C)	perm	kilogramme par pascal-seconde-mètre carré	$kg/(Pa\text{-}s\text{-}m^2)$ (PERM)	$5{,}721 \times 10^{-11}$
perm (23°C)	perm	kilogramme par pascal-seconde-mètre carré	$kg/(Pa\text{-}s\text{-}m^2)$ (PERM)	$5{,}745 \times 10^{-11}$
perm-pouce (0°C)	perm-po	kilogramme par pascal-seconde-mètre	kg/(Pa-s-m)	$1{,}4532 \times 10^{-12}$
perm-pouce (23°C)	perm-po	kilogramme par pascal-seconde-mètre	kg/(Pa-s-m)	$1{,}4593 \times 10^{-12}$
chopine (imp.)	chopine	litre	L	0,56826
livre	lb	gramme	g	453,5924
livre	lb	joule/mètre (Newton)	J/m N	4,448
livre	lb	kilogramme	kg	0,4536
livre	lb	tonne (métrique)	t	$4{,}536 \times 10^{-4}$
livre/pied cube	lb/pi^3	gramme/litre	g/L	16,02
livre/pouce carré	lb/po^2	kilopascal	kPa	6,89476
pinte	pinte	litre	L	1,1365
slug	slug	kilogramme	kg	14,5939
pied carré	pi^2	mètre carré	m^2	0,09290
pouce carré	po^2	centimètre carré	cm^2	6,452
verge carré	v^2	mètre carré	m^2	0,83613
tonne (longue)	ton	kilogramme	kg	1016
tonne (courte)	tn	kilogramme	kg	907,185
verge	v	mètre	m	0,9144

* "L" tel qu'utilisé dans l'éclairement.

Les valeurs typiques qui suivent peuvent servir de facteurs de conversion quand les données réelles manquent. Les équivalents en MJ et en BTU correspondent à la chaleur de combustion. Les chiffres applicables aux hydrocarbures correspondent à la valeur calorifique la plus élevée (poids humide). Certains produits sont de toute évidence des matières premières, mais ont été inclus au tableau pour le rendre plus complet et pour servir de référence. Les facteurs de conversion pour le charbon sont approximatifs puisque la valeur calorifique de ce produit varie selon la mine d'où il a été extrait.

TYPE D'ÉNERGIE	MÉTRIQUE	IMPÉRIAL
CHARBON		
— métallurgique	29 000 mégajoules/tonne	25,0 × 10^6 BTU/tonne
— anthracite	30 000 mégajoules/tonne	25.8 × 10^6 BTU/tonne
— bitumineux	32 100 mégajoules/tonne	27,6 × 10^6 BTU/tonne
— sous-bitumineux	22 100 mégajoules/tonne	19,0 × 10^6 BTU/tonne
— lignite	16 700 mégajoules/tonne	14,4 × 10^6 BTU/tonne
COKE		
— métallurgique	30 200 mégajoules/tonne	26,0 × 10^6 BTU/tonne
— pétrolier		
— brut	23 300 mégajoules/tonne	20,0 × 10^6 BTU/tonne
— calciné	32 600 mégajoules/tonne	28,0 × 10^6 BTU/tonne
POIX	37 200 mégajoules/tonne	32,0 × 10^6 BTU/tonne
PÉTROLE BRUT	38,5 mégajoules/litre	5,8 × 10^6 BTU/baril
MAZOUT N° 2	38,68 mégajoules/litre	5,88 × 10^6 BTU/baril 0,168 × 10^6 BTU/GI
PÉTROLE N° 4	40,1 mégajoules/litre	6,04 × 10^6 BTU/baril 0,173 × 10^6 BTU/GI
PÉTROLE N° 6 (MAZOUT LOURD C)		
— 2,5% soufre	42,3 mégajoules/litre	6,38 × 10^6 BTU/baril 0,182 × 10^6 BTU/GI
— 1,0% soufre	40,5 mégajoules/litre	6,11 × 10^6 BTU/baril 0,174 × 10^6 BTU/GI
— 0,5% soufre	40,2 mégajoules/litre	6,05 × 10^6 BTU/baril 0,173 × 10^6 BTU/GI
KÉROSÈNE	37,68 mégajoules/litre	0,167 × 10^6 BTU/GI
DIESEL	38,68 mégajoules/litre	0,172 × 10^6 BTU/GI
GAZOLINE	36,2 mégajoules/litre	0,156 × 10^6 BTU/GI
GAZ NATUREL	37,2 mégajoules/m^3	1,00 × 10^6 BTU/M pi^3
PROPANE	50,3 mégajoules/kg 26,6 mégajoules/litre	0,02165 × 10^6 BTU/lb 0,1145 × 10^6 BTU/GI
ÉLECTRICITÉ	3,6 mégajoules/kWh	0,003413 × 10^6 BTU/kWh

Enquête sur le système d'éclairage
Section : Occasions de réduction des coûts

Problème N^{O} 1
(Page 1 de 2)

Raison sociale : _____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

1. Généralités

Endroit d'exécution des travaux: _____

Dimensions: A Longueur _____ m; largeur _____ m; hauteur _____ m;

B _____ _____ _____

C _____ _____ _____

Source de lumière: Incandescente ☐ DHI ☐

Fluorescente ☐ Autre ☐

2. État du système d'éclairage

Age approximatif du système _____ ans

Date du dernier entretien des luminaires _____

Date du dernier changement des lampes _____

Genre de contrôle: Manuel ☐

Automatique – Minuterie ☐

Microprocesseur ☐

Cellule photoélectrique ☐

3. Échéancier de fonctionnement:

Installations _____ h/j _____ j/sem _____ sem/an

Éclairage _____ h/j _____ j/sem _____ sem/an

Nettoyage _____ h/j _____ j/sem _____ sem/an

Enquête sur le système d'éclairage
Section : Occasions de réduction des coûts

Problème N^{O} 1
(Page 2 de 2)

4. Niveau moyen d'illumination

Mea _____ Recommandé _____

Photomètre: Marque _____ Modèle _____

Date de calibration: _____

5. Densité de la puissance

Mesurée A _____ Limite recommandée A _____
B _____ B _____
C _____ C _____

Identification des luminaires _____

Nom du fabricant _____ Type _____ Modèle _____

Description du luminaire _____

Wattage total par luminaires _____

Nombre total de luminaires A _____
B _____
C _____

État _____

6. Réflectances – Transmittance

Réflectances de la pièce

Mesurées: Plafond _____ Recommandées: Plafond _____
Murs _____ Murs _____
Plancher _____ Plancher _____

Transmittance de la lentille du luminaire _____

Mesurée _____ Recommandée _____

Analyse des coûts du cycle de durée
Section : Occasions d'améliorations

Problème N^{o} 2
(Page 1 de 1)

Raison sociale : _____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

2. _____ Illuminance visée, en lux
3. _____ Aire totale en mètres carrés
4. _____ Nombre d'heures d'utilisation par année
5. _____ Tarif de l'électricité

Lampes

6. _____ Lumens initiaux des lampes
7. _____ Durée spécifiée des lampes, en heures
8. _____ Watts à l'entrée, par luminaire
9. _____ Fraction de lumens efficaces à la sortie (UC)
10. _____ Facteur de dépréciation des lampes
11. _____ Facteur de dépréciation due à la poussière
12. _____ Lumens efficaces (6) (99) (10) (11)
13. _____ Nombre de luminaires (2) (3) / (12)
14. _____ Watts totaux à l'entrée (8) (13)
15. _____ Coût d'un luminaire
16. _____ Coût du câblage, ex. (150$/kW) / (13)
17. _____ Frais de main-d'oeuvre pour installer un luminaire
18. _____ Coût des lampes pour chaque luminaire
19. _____ Premier coût total (13) (15 + 16 + 17 + 18)
20. _____ Nombre de lampes par luminaire
21. Nombre de remplacements de lampe par an
    _____ (13) (20) (4) / (7)
22. _____ Coûts de main-d'oeuvre par remplacement de lampes
23. _____ Coût annuel en lampes (21) ((22) + (18) / (20))
24. _____ Coût de l'énergie par année
25. _____ Coût d'exploitation total par an (23) + (24)

Analyse des coûts du cycle de durée
Section : Occasions d'améliorations

Problème N^{O} 3
(Page 1 de 1)

Raison sociale : _____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

2. _____ Illuminance visée, en lux
3. _____ Aire totale en mètres carrés
4. _____ Nombre d'heures d'utilisation par année
5. _____ Tarif de l'électricité

Lampes

6. _____ Lumens initiaux des lampes
7. _____ Durée spécifiée des lampes, en heures
8. _____ Watts à l'entrée, par luminaire
9. _____ Fraction de lumens efficaces à la sortie (UC)
10. _____ Facteur de dépréciation des lampes
11. _____ Facteur de dépréciation due à la poussière
12. _____ Lumens efficaces (6) (99) (10) (11)
13. _____ Nombre de luminaires (2) (3) / (12)
14. _____ Watts totaux à l'entrée (8) (13)
15. _____ Coût d'un luminaire
16. _____ Coût du câblage, ex. (150$/kW) / (13)
17. _____ Frais de main-d'oeuvre pour installer un luminaire
18. _____ Coût des lampes pour chaque luminaire
19. _____ Premier coût total (13) (15 + 16 + 17 + 18)
20. _____ Nombre de lampes par luminaire
21. Nombre de remplacements de lampe par an
_____ (13) (20) (4) / (7)
22. _____ Coûts de main-d'oeuvre par remplacement de lampes
23. _____ Coût annuel en lampes (21) ((22) + (18) / (20))
24. _____ Coût de l'énergie par année
25. _____ Coût d'exploitation total par an (23) + (24)

Analyse des coûts du cycle de durée
Section : Occasions d'améliorations

Problème N^{O} 4a
(Page 1 de 1)

Raison sociale : _____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

2. _____ Illuminance visée, en lux
3. _____ Aire totale en mètres carrés
4. _____ Nombre d'heures d'utilisation par année
5. _____ Tarif de l'électricité

Lampes

6. _____ Lumens initiaux des lampes
7. _____ Durée spécifiée des lampes, en heures
8. _____ Watts à l'entrée, par luminaire
9. _____ Fraction de lumens efficaces à la sortie (UC)
10. _____ Facteur de dépréciation des lampes
11. _____ Facteur de dépréciation due à la poussière
12. _____ Lumens efficaces (6) (99) (10) (11)
13. _____ Nombre de luminaires (2) (3) / (12)
14. _____ Watts totaux à l'entrée (8) (13)
15. _____ Coût d'un luminaire
16. _____ Coût du câblage, ex. (150$/kW) / (13)
17. _____ Frais de main-d'oeuvre pour installer un luminaire
18. _____ Coût des lampes pour chaque luminaire
19. _____ Premier coût total (13) (15 + 16 + 17 + 18)
20. _____ Nombre de lampes par luminaire
21. Nombre de remplacements de lampe par an
    _____ (13) (20) (4) / (7)
22. _____ Coûts de main-d'oeuvre par remplacement de lampes
23. _____ Coût annuel en lampes (21) ((22) + (18) / (20))
24. _____ Coût de l'énergie par année
25. _____ Coût d'exploitation total par an (23) + (24)

Analyse des coûts du cycle de durée
Section : Occasions d'améliorations

Problème N^{O} 4b
(Page 1 de 1)

Raison sociale : _____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

2. _____ Illuminance visée, en lux
3. _____ Aire totale en mètres carrés
4. _____ Nombre d'heures d'utilisation par année
5. _____ Tarif de l'électricité

Lampes

6. _____ Lumens initiaux des lampes
7. _____ Durée spécifiée des lampes, en heures
8. _____ Watts à l'entrée, par luminaire
9. _____ Fraction de lumens efficaces à la sortie (UC)
10. _____ Facteur de dépréciation des lampes
11. _____ Facteur de dépréciation due à la poussière
12. _____ Lumens efficaces (6) (99) (10) (11)
13. _____ Nombre de luminaires (2) (3) / (12)
14. _____ Watts totaux à l'entrée (8) (13)
15. _____ Coût d'un luminaire
16. _____ Coût du câblage, ex. (150$/kW) / (13)
17. _____ Frais de main-d'oeuvre pour installer un luminaire
18. _____ Coût des lampes pour chaque luminaire
19. _____ Premier coût total (13) (15 + 16 + 17 + 18)
20. _____ Nombre de lampes par luminaire
21. Nombre de remplacements de lampe par an
    _____ (13) (20) (4) / (7)
22. _____ Coûts de main-d'oeuvre par remplacement de lampes
23. _____ Coût annuel en lampes (21) ((22) + (18) / (20))
24. _____ Coût de l'énergie par année
25. _____ Coût d'exploitation total par an (23) + (24)